

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Industrial

Microsimulación De Tráfico Para Evaluar El Impacto De La Ampliación Del Metrocentro En Sevilla

Autor: Sergio Garrido Pulido

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

**Dpto. Ingeniería Y Ciencia De Los Materiales Y Del
Transporte**
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Microsimulación De Tráfico Para Evaluar El Impacto De La Ampliación Del Metrocentro En Sevilla

Autor:
Sergio Garrido Pulido

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

Dpto. Ingeniería Y Ciencia De Los Materiales Y Del Transporte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Máster: Microsimulación De Tráfico Para Evaluar El Impacto De La Ampliación Del
Metrocentro En Sevilla

Autor: Sergio Garrido Pulido

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

Agradecimientos

Como siempre, agradecer a los verdaderos culpables de todos mis éxitos a mis padres, con este TFM cierro el mejor legado que se puede entregar a un hijo, una educación de calidad. Gracias de corazón.

A Manuela, mi hermana, eres un ejemplo de persona, y ya mismo lo serás también de profesional, estoy muy orgulloso de ti.

A Carmen, gracias por todo, contigo todo es más fácil y se disfruta más.

Por otra parte, este proyecto sirve como colofón a mi época formativa en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla que tanto me ha dado, y que me ha convertido en la persona que soy actualmente. Me gustaría mostrar mi agradecimiento a todo el personal que conforma esta Escuela, que tantos y tan buenos profesionales forma cada año.

El presente proyecto surge como una necesidad real, del autor, de conocer el impacto y la viabilidad de las obras que tienen lugar en el barrio de residencia de éste, el barrio de Nervión en Sevilla, unas obras que consisten en la ampliación del Metrocentro en esta ciudad, alargando el recorrido desde San Bernardo hasta Nervión.

Estas obras tienen un impacto muy alto durante su ejecución, ya que paralizan todo el tráfico de las vías implicadas, que son las principales de la zona.

Por tanto, este Trabajo de Fin de Master tiene como objetivo, medir el impacto de esta ampliación de la red de tranvía, para lo cual se modelará y simularán distintos escenarios.

El modelado y posterior simulación, se llevará a cabo con un software especializado, llamado PTV Vissim.

Abstract

This project arises as a real need, of the author, to know the impact and viability of the works that take place in his neighborhood of residence, the Nervión neighborhood in Seville, some works that consist of the expansion of the Metrocentro in this city, extending the route from San Bernardo to Nervión.

These works have a very high impact during their execution, since they paralyze all traffic on the roads involved, which are the main ones in the area.

Therefore, this Master's Thesis aims to measure the impact of this expansion of the tram network, for which different scenarios will be modeled and simulated.

The modeling and subsequent simulation will be carried out with specialized software called PTV Vissim.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xviii
1 Introducción	11
1.1 <i>Motivación</i>	11
1.2 <i>Plan de movilidad urbana sostenible de Sevilla</i>	12
1.3 <i>Líneas de actuación</i>	13
1.3.1 <i>Ampliación del metro</i>	13
1.3.2 <i>Ampliación de la red de cercanías</i>	14
1.3.3 <i>Ampliación del Metrocentro</i>	15
1.4 <i>Ampliación del Metrocentro</i>	15
1.4.1 <i>Corredor Verde</i>	16
1.4.2 <i>Polémica con la obra</i>	17
1.4.3 <i>Polémica con el túnel</i>	18
1.4.4 <i>Comienzo obras ampliación Metrocentro</i>	19
1.4.5 <i>Retraso en la finalización de las obras</i>	21
1.5 <i>Objetivos del trabajo</i>	22
1.6 <i>Tipos de simulaciones de tráfico</i>	23
1.6.1 <i>Microsimulación de tráfico</i>	24
2 HERRAMIENTA PARA LA SIMULACIÓN: PTV VISSIM 2022	26
2.1 <i>Introducción</i>	26
2.2 <i>Interfaz</i>	27
2.2.1 <i>Network object:</i>	27
2.2.2 <i>Network Editor</i>	29
2.2.3 <i>Listas</i>	30
2.2.4 <i>Quick View</i>	31
2.3 <i>Modelo de Car-following de Wiedemann</i>	31
2.4 <i>Modelo Wiedemann 74</i>	32
2.5 <i>Modelo 99 de Wiedemann.</i>	33
2.6 <i>Selección de modelos y modificación de los mismos</i>	34
2.7 <i>Modelo de cambio de carril</i>	37
2.8 <i>Gestión de escenarios.</i>	37
2.8.1 <i>Pasos para crearlo</i>	37
2.8.2 <i>Ventajas</i>	38

2.9	<i>Simulaciones en PTV Vissim</i>	39
2.10	<i>Comparativa de escenarios</i>	41
3	Emplazamiento	43
3.1	<i>Ubicación del área</i>	43
3.2	<i>Sistema Viario</i>	46
3.2.1	Avenida San Francisco Javier	46
3.2.2	Avenida Eduardo Dato	46
3.2.3	Calle Luis de Morales	47
3.2.4	Avenida Ramón y Cajal	47
3.2.5	Enramadilla	48
3.2.6	Calle Juan de Mata	48
3.2.7	Avenida de la Borbolla	49
3.2.8	Avenida Carlos V	49
3.2.9	Ronda Histórica	50
3.2.10	Plaza Don Juan de Austria	50
3.2.11	Cruce entre Juan de Mata y Enramadilla	51
3.3	<i>Generación y atracción de viajes</i>	52
3.4	<i>Actividad</i>	52
3.5	<i>Transporte público</i>	54
4	Modelado	55
4.1	<i>Introducción</i>	55
4.2	<i>Escenario 1: Escenario inicial</i>	55
4.2.1	Presentación del modelo	55
4.2.2	Composición vehicular	56
4.2.3	Intensidades de tráfico	57
4.2.4	Medidas de campo	58
4.2.5	Rutas vehiculares	59
4.2.6	Mediciones de las fases semafóricas	61
4.2.7	Transposte público	63
4.2.8	Tranvía	65
4.2.9	Modelado Peatonal	67
4.2.10	Adaptación del modelo:	69
4.3	<i>Escenario 2: situación final</i>	70
4.3.1	Presentación del modelo	70
4.3.2	Cruce entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier	71
4.3.3	Cruce entre San Francisco Javier y Camilo José Cela	73
4.3.4	Cruce entre San Francisco Javier y Eduardo Dato	74
4.3.5	Diferencias en el modelo	76
4.4	<i>Escenario 3: Situación alternativa</i>	77
5	Microsimulación y resultados	78
5.1	<i>Introducción</i>	78
5.2	<i>Presentación de resultados</i>	79
5.3	<i>Retrasos en el sistema</i>	79
5.4	<i>Paradas en el Sistema</i>	81
5.5	<i>Velocidad media</i>	82
5.6	<i>Nivel de servicio en los nuevos cruces.</i>	83
5.6.1	Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier	84
5.6.2	Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela	86
5.6.3	Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato	87
5.7	<i>Contaminación en los nodos</i>	89
6	Conclusiones	90
	Referencias	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Viajes generados/atraídos por motivo de viaje.....	53
Tabla 2: Lugares que atraen mayor cantidad de tráfico al barrio de Nervión (Sevilla, n.d.).....	54
Tabla 3: Intensidades de tráfico en Sevilla según el Centro de Control de Tráfico del Ayuntamiento de Sevilla.....	58
Tabla 4: Resultados de la red en el Escenario 1.	79
Tabla 5: Resultados en los nodos en el Escenario 1.	79
Tabla 6: Escala de colores de Nivel de Servicio.	84
Tabla 7: Comparativa de emisiones en los nodos.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Atasco en la Av. de la Buhaira (llega hasta el final de dicha avenida).	11
Figura 2: Pirámide de la movilidad.(Sevilla, n.d.)	12
Figura 3: líneas del metro cuando finalice el proyecto. (Sevilla, n.d.)	14
Figura 4: línea existente (trazo continuo azul) y ampliación recogida en el PMUS (discontinua).	15
Figura 5: Recreación del Ayuntamiento de Sevilla de la nueva zona peatonal de Nervión. (<i>Respira Nervión — Respira Sevilla</i> , n.d.)	17
Figura 6: Túnel de Cardenal Bueno Monreal a su paso por La Palmera.	18
Figura 7: Titular de un periódico donde se cuestiona dicha infraestructura.(R.S. (Diario De Sevilla), n.d.)	19
Figura 8: Artículo con crítica al túnel.(Florencio, n.d.)	19
Figura 9: Cortes de tráfico en marzo de 2022. (Mar Chacón, n.d.)	20
Figura 10: Cortes de tráfico a partir de febrero de 2023. (<i>El Ayuntamiento Inicia La Próxima Semana Las Obras de La Plataforma Tranviaria y El Corredor Verde En El Tramo Luis de Morales, Diseña Un Plan Especial de Tráfico Con Rutas Alternativas Por El Corte Total de Esta Vía y Comienza a Liberar Distintas Calles Interiores de La Avenida San Francisco Javier — Actualidad</i> , n.d.)	21
Figura 11:titular del Diario de Sevilla.(ANA S. AMENEIRO, n.d.)	21
Figura 12: Noticia en la que se informa del retraso que lleva la obra. (RUESGA, 2023)	22
Figura 13: Recreación San Francisco Javier tras las obras. (<i>Respira Nervión — Respira Sevilla</i> , n.d.)	23
Figura 14: Ventana inicio PTV Vissim	26
Figura 15:Configuración de ventanas recomendada de PTV VISSIM.	27
Figura 16: Ventana configuración Links.	28
Figura 17: Conflict area en Vissim.	28
Figura 18: Ejemplo de ruta vehicular en PTV Vissim	29
Figura 19: Opciones de visualización en Network Editor	30
Figura 20: Ejemplo de listas en Vissim. Vehicle Inputs.	30
Figura 21: Ejemplo de Quick View.	31
Figura 22: Modelo de seguimiento de Widemann 1974.(PTV Group, 2022)	32
Figura 23: Modelos usados en diferentes configuraciones de vías.	34
Figura 24: Modelo de flujo en Urban.	35
Figura 25: Modelo de seguimiento de vehículos en Urban.	36
Figura 26: Modelo de cambio de carril en Urban.	36
Figura 27: Estructura de proyecto en Scenario Management.	38
Figura 28: Parámetros de ejecución.	40
Figura 29: Zona elegida para modelar y analizar.	44
Figura 30: Área ampliada que se va a modelar.	45
Figura 31: Vista en Google Maps de la Av. San Francisco Javier.	46
Figura 32:Vista en Google Maps de la Av. Eduardo Dato.	47
Figura 33: Avenida Ramón y Cajal vista desde Google Maps.	47
Figura 34: Calle Enramadilla a vista de Google Maps.	48
Figura 35: Calle Juan de Mata vista por Google Maps.	49
Figura 36: Vista en Google Maps de la Avenida Carlos V.	50
Figura 37: Plaza Don Juan de Austria vista con Google Maps.	51
Figura 38: Juan de Mata con Enramadilla vista con Google Maps.	51
Figura 39: Matriz de atracción y generación de viajes por macrozonas,(Sevilla, n.d.)	52
Figura 40: Vista completa del escenario inicial.	56
Figura 41: composición vehicular "" Av. Estándar".	57

Figura 42: Composición vehicular "peatones".	57
Figura 43: Foto durante las tomas de datos en Menéndez Pelayo.	58
Figura 44: Ruta vehicular en San Francisco Javier en su cruce con Camilo José Cela.	59
Figura 45: Rutas vehiculares en la intersección de San Francisco Javier con Camilo José Cela.	59
Figura 46: Intersección de San Francisco Javier con Camilo José Cela antes del inicio de las obras.	60
Figura 47: Captura de Google Street View de Avenida Ramón y Cajal.	60
Figura 48: Disposición de los sistemas semafóricos en el escenario inicial.	61
Figura 49: Ciclo semafórico del cruce entre San Francisco Javier con Camilo José Cela en el escenario inicial.	61
Figura 50: Señales semafóricas numeradas in situ en cruce de San Francisco Javier con Camilo José Cela en el escenario inicial.	62
Figura 51: Paradas y línea de autobuses en Prado y San Bernardo.	63
Figura 52: Línea C1 antes del inicio de las obras del Metrocentro.	64
Figura 53: Detalle de recorrido C1 con las paradas que realiza en rojo (flechas amarillas).	64
Figura 54: Modelo 3D del tranvía utilizado en el modelo.	65
Figura 55: Configuración y cadencia del tranvía en el modelo.	66
Figura 56: Rotonda Don Juan de Austria modelada.	66
Figura 57: Módulo de PTV Vissim para el modelado de peatones.	67
Figura 58: Zona peatonal en San Bernardo.	67
Figura 59: Tranvía en sentido San Bernardo, en esta parada, con los peatones bajando del mismo.	68
Figura 60: Peatones subiendo y bajando de la parada del C1 de San Bernardo.	68
Figura 61: Configuración inicial del Modelo de seguimiento (dcha.) y configuración adaptada al modelo (izq.)	69
Figura 62: Modificación del parámetro de visión hacia delante.	69
Figura 63: Introducción de una zona de reducción de velocidad para aumentar la seguridad vial con la parada de TP.	70
Figura 64: Modelo desarrollado para el Escenario 2.	71
Figura 65: Cruce entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier según el proyecto de Ayesa.	72
Figura 66: Modelo del cruce entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier en 3D.	72
Figura 67: Captura de la simulación en 3D en el cruce entre Ramón y Cajal con San Francisco Javier.	73
Figura 68: Cruce entre San Francisco Javier y Camilo José Cela según el proyecto de Ayesa.	73
Figura 69: Captura de la simulación en 3D en el cruce entre San Francisco Javier con Camilo José Cela.	74
Figura 70: Cruce entre San Francisco Javier y Eduardo Dato según el proyecto de Ayesa.	75
Figura 71: Captura de la simulación en 3D en el cruce entre San Francisco Javier con Eduardo Dato.	75
Figura 72: Noticia que recoge la reducción de tráfico estimada. (ANA S. AMENEIRO, 2022)	76
Figura 73: Intersección entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier en el Escenario 3.	77
Figura 74: Tipos de resultados que ofrece PTV Vissim.	78
Figura 75: Gráfica con los retrasos en el sistema por simulación.	80
Figura 76: Gráfica con los retrasos en el sistema por simulación.	80
Figura 77: Gráfica con las paradas en el sistema por simulación.	81
Figura 78: Gráfica con las paradas en el sistema por simulación.	82
Figura 79: Gráfica con la velocidad media en el sistema por simulación.	83
Figura 80: Gráfica con la velocidad media en el sistema por simulación.	83
Figura 81: Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier escenario 2(final).	85
Figura 82: Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier en escenario 3 (alternativo).	85
Figura 83: Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela en escenario 2(final).	86
Figura 84: Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela en escenario 3(alternativo).	87
Figura 85: Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato en escenario 2 (final).	88
Figura 86: Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato en escenario 3(alternativo).	88

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El autor de este Trabajo Fin de Máster se encuentra altamente motivado por la necesidad de comprender y evaluar el impacto de la ampliación del Metrocentro de Sevilla en la zona donde reside (barrio de Nervión).

La movilidad urbana en esta zona se ha visto fuertemente afectada por el aumento del tráfico rodado en los últimos años, lo que genera una serie de problemáticas relacionadas con la seguridad vial, la contaminación ambiental y la calidad de vida de los habitantes de la zona.



Figura 1: Atasco en la Av. de la Buhaira (llega hasta el final de dicha avenida).

La ampliación del Metrocentro se presenta como una posible solución para estas problemáticas, ya que permitiría una mayor accesibilidad a través de un medio de transporte sostenible y eficiente. Por esta razón, el autor se ha propuesto realizar un estudio exhaustivo de la posible ampliación del Metrocentro, con el objetivo de evaluar sus potenciales beneficios y sus posibles impactos en la movilidad urbana y el desarrollo sostenible de la zona.

A través de la realización de simulaciones, se podrá analizar y comparar distintos escenarios de tráfico y políticas

de movilidad, identificando las principales causas del aumento del tráfico en la zona y evaluando las posibles soluciones. De esta manera, se podrá evaluar el impacto de la ampliación del Metrocentro en términos de reducción del tráfico rodado, mejora de la calidad del aire y aumento de la accesibilidad y en definitiva un avance hacia una movilidad más sostenible.

En definitiva, el autor de este Trabajo Fin de Máster se siente altamente motivado por la posibilidad de contribuir al desarrollo sostenible de su comunidad y de evaluar el impacto de una posible solución a las problemáticas de movilidad urbana en su zona de residencia. A través de este trabajo, se espera generar conocimiento y propuestas innovadoras que puedan contribuir a la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades municipales y la ciudadanía interesada en la mejora de la calidad de vida de la ciudad.

1.2 Plan de movilidad urbana sostenible de Sevilla

Para contextualizar e introducirse en el tema, es conveniente conocer unas nociones básicas del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) de Sevilla. Este documento, licitado, dirigido y supervisado por el Ayuntamiento de Sevilla, establece las líneas estratégicas para el desarrollo de la movilidad sostenible en la ciudad en los próximos años. Tiene como objetivo principal mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad del sistema de transporte, a través de medidas que fomenten el uso del transporte público, la bicicleta, el vehículo compartido y los desplazamientos a pie.

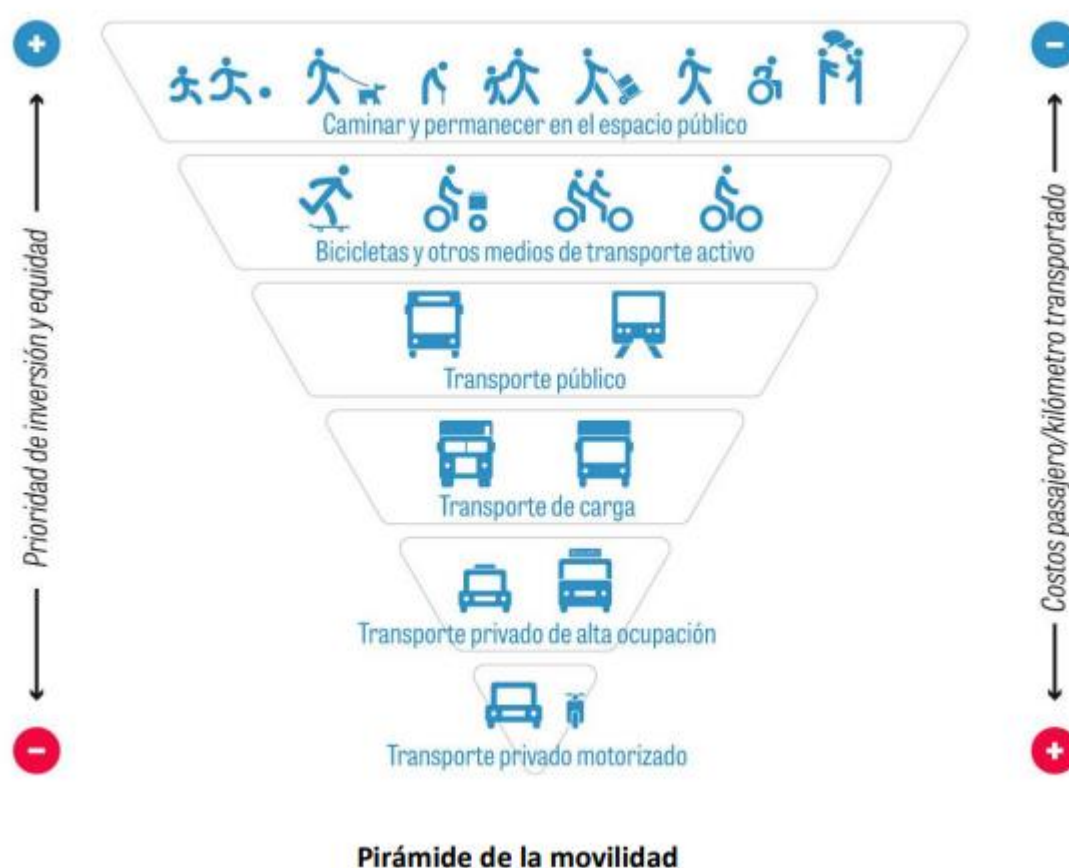


Figura 2: Pirámide de la movilidad.(Sevilla, n.d.)

Entre las medidas propuestas en el PMUS de Sevilla se encuentran:

- **Promoción del transporte público:** Se plantea la mejora de la oferta de transporte público, tanto en términos de calidad como de accesibilidad, para incentivar su uso y reducir el uso del vehículo particular. Se plantea una red de transporte público rápido, eficiente y atractivo que fomente la intermodalidad.
- **Fomento del transporte sostenible:** Se busca potenciar el uso de la bicicleta, el vehículo compartido y los desplazamientos a pie, a través de medidas como la creación de una red de carriles bici, la promoción del uso de la bicicleta eléctrica o el impulso a sistemas de préstamo de bicicletas.
- **Control del tráfico:** Se propone la gestión del tráfico a través de herramientas tecnológicas que permitan mejorar la fluidez y la seguridad vial, minimizando los impactos negativos del tráfico sobre el medio ambiente y la salud de los ciudadanos.
- **Reducción de la emisión de gases contaminantes:** Se busca reducir la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero a través de la promoción del transporte sostenible, el uso de tecnologías limpias y la concienciación de la ciudadanía.
- **Accesibilidad y movilidad reducida:** Se pretende mejorar la accesibilidad y la movilidad de las personas con discapacidad o movilidad reducida, garantizando el derecho de todas las personas a una movilidad segura y sostenible.

En definitiva, el PMUS de Sevilla tiene como objetivo fomentar una movilidad más sostenible, eficiente y accesible para todos los ciudadanos, y reducir los impactos negativos del transporte sobre el medio ambiente y la salud pública. Para ello, se plantean medidas concretas que permitan mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y garantizar la sostenibilidad del sistema de transporte en la ciudad.

1.3 Líneas de actuación

Como se ha comentado, las líneas estratégicas del PMUS se centran en tratar mejorar la movilidad urbana en la ciudad, reducir la contaminación y hacer la ciudad más sostenible; por ello aparecen en el mismo varias actuaciones futuras que caminen en esta dirección.

En la actualidad, el transporte en el municipio de Sevilla depende en gran medida del automóvil, lo que provoca múltiples problemas desde un enfoque funcional, socioeconómico y medioambiental. Además, se ha observado que aumentar la oferta de carreteras conduce a un aumento en la demanda de tráfico, lo que significa que simplemente construir más infraestructuras no resuelve los problemas de movilidad y tráfico en una ciudad.

Con todo lo anterior se definen una serie de proyectos para el corto-medio plazo, donde se encuadran dos de gran envergadura:

- Ampliación del metro
- Ampliación de la red de cercanías
- Ampliación del Metrocentro

1.3.1 Ampliación del metro

El Plan de Red de Metro de Sevilla tiene como objetivo proporcionar un sistema de transporte completo para toda el área metropolitana de Sevilla a través de cuatro líneas. Se planea ampliar la actual línea 1 hasta Alcalá de Guadaira, con una longitud de 12,6 km y 11 estaciones adicionales, seis de las cuales estarán en el casco urbano de Alcalá de Guadaira, llegando a Montecarmelo. Se espera que esta ampliación esté en funcionamiento

a finales de 2019, sirviendo a cerca de 80.000 usuarios y transportando cinco millones de pasajeros al año.

La línea 2 atravesará la ciudad de este a oeste, con 17 estaciones y una longitud de 12,9 km. Comenzando en la Isla de la Cartuja, pasará por el casco antiguo, la Estación de Santa Justa, Polígono San Pablo y la zona este de la ciudad, finalizando en Torreblanca.

La línea 3 tendrá 17 estaciones, una longitud estimada de 11,6 km y dispondrá de una disposición transversal, de norte a sur en el margen izquierdo del río Guadalquivir. Comenzará en Pino Montano, cruzará la ronda urbana norte SE-20 en dirección a Macarena por San Lázaro, Doctor Fedriani y Juan de Ribera; pasará por Puerta Osario; Prado de San Sebastián; Plaza de España; Avenida de la Palmera; Reina Mercedes y finalizará en Los Bermejales.

La línea 4 contará con 19 estaciones, 16 km y un trazado circular que la conectará con las otras líneas de metro. Partirá de Los Remedios hasta el campus de Reina Mercedes en la zona sur, atravesando zonas como la Ronda de Triana, Isla de la Cartuja, La Macarena, Polígono de San Pablo, la Ronda del Tamarguillo y el Hospital Virgen del Rocío.

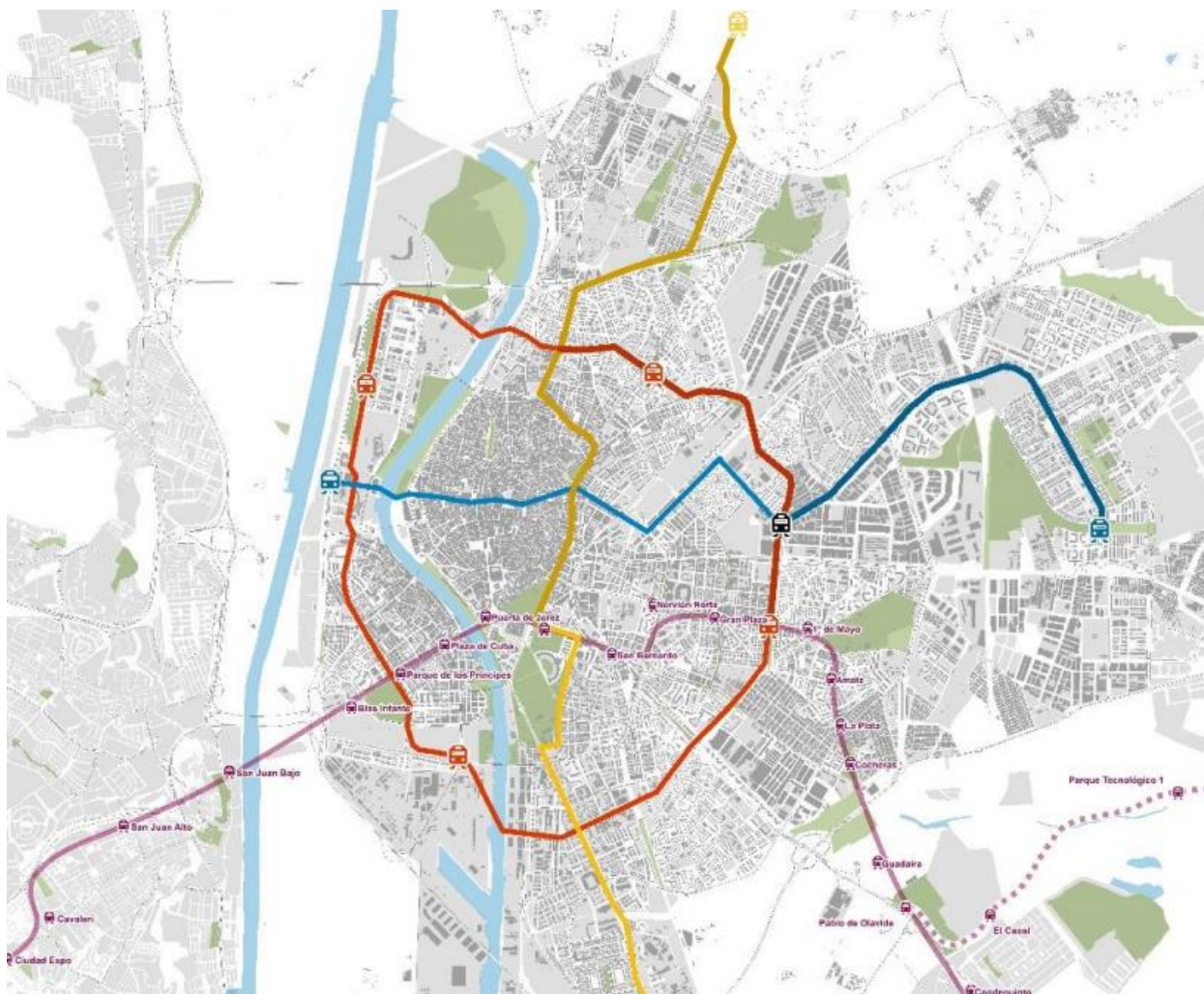


Figura 3: líneas del metro cuando finalice el proyecto. (Sevilla, n.d.)

1.3.2 Ampliación de la red de cercanías

La red de Cercanías de Sevilla no cuenta con una estructura ni frecuencia adecuadas para ser considerada como un medio de transporte práctico para los desplazamientos urbanos e interurbanos. De hecho, cuenta con la menor demanda de viajeros en comparación con otros medios de transporte, registrando solo 7,6 millones de usuarios,

en contraste con los 15,3 millones del metro y los 9,8 millones de los autobuses interurbanos.

En línea con los objetivos estratégicos establecidos en el PEIT 2015-2020, elaborado por el Ministerio de Fomento, se hace evidente la necesidad de mejorar las conexiones ferroviarias para lograr una integración intermodal eficiente en los servicios de transporte público metropolitano. Asimismo, se considera una prioridad la conexión ferroviaria con el aeropuerto de Sevilla-San Pablo. A pesar de esto, actualmente no existen planes concretos para llevar a cabo estas acciones.

1.3.3 Ampliación del Metrocentro

Se considera la posibilidad de ampliar el Metrocentro en Sevilla, lo que implicaría la conexión de la parada Plaza Nueva del tranvía con los servicios de AVE, larga y media distancia y cercanías en la estación de ferrocarril más importante de la ciudad, Sevilla-Santa Justa. El recorrido tendría una longitud de 2,16 kilómetros y se agregarían cuatro nuevas paradas en San Francisco Javier, Eduardo Dato, Luis de Morales y Santa Justa.

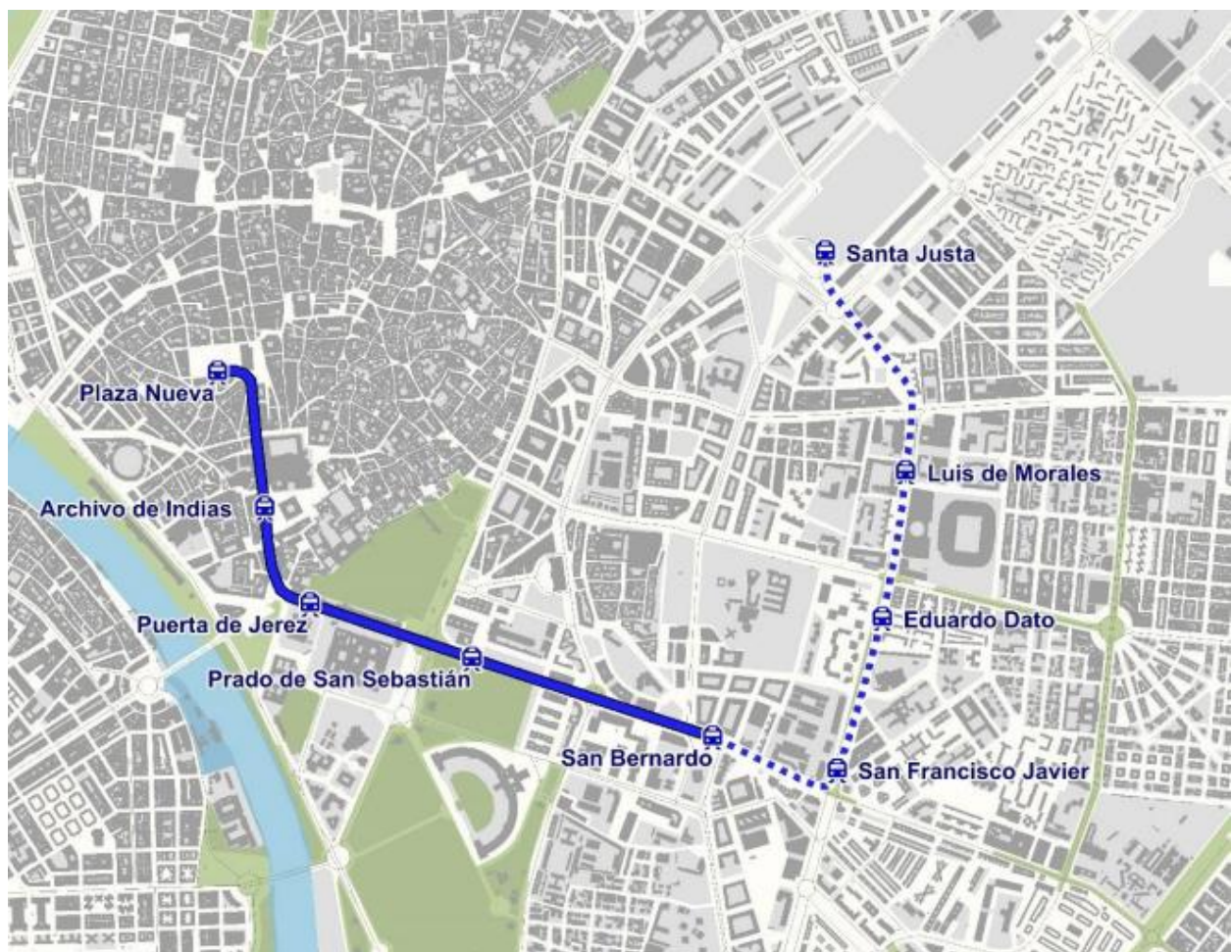


Figura 4: línea existente (trazo continuo azul) y ampliación recogida en el PMUS (discontinua).

1.4 Ampliación del Metrocentro

Este proyecto de Fin de Máster, como se detallará más adelante, tiene como objetivo analizar esta actuación,

que por su gran envergadura requiere una descripción más detallada.

La ejecución de la ampliación del Metrocentro desde San Bernardo hasta Santa Justa estaba prevista para 2020, pero por la pandemia tuvo que postponerse.

Es en 2021 cuando la Junta de Gobierno Local da luz verde a la licitación de la obra civil de la primera fase de la ampliación del Metrocentro hasta Santa Justa. El presupuesto para esta obra es de 20.676.334 euros, y también se aprueba el gasto y los pliegos de contratación de dirección de obra y coordinación de seguridad y salud por 666.000 euros. La financiación del proyecto proviene en un 80% de fondos europeos FEDER a través del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE).

El Proyecto consta de dos fases, en la primera fase de la ampliación del Metrocentro tendrá una longitud de 1,4 kilómetros entre San Bernardo y Nervión, con tres paradas en San Francisco Javier, Eduardo Dato y Centro Comercial Nervión. En el futuro se ejecutará la segunda fase hasta Santa Justa, lo que permitirá unir los principales nodos intermodales de la ciudad y mejorar la conexión con la zona Este y el Casco Antiguo. Esta fase será el objeto de estudio del presente trabajo.

El proyecto permitirá duplicar las cifras actuales de uso del tranvía, con una velocidad comercial de 21 kilómetros por hora y un tiempo estimado de recorrido entre San Bernardo y la estación de 5,3 minutos. También se ha aprobado el proyecto del corredor verde de San Francisco Javier y Luis de Morales, que incluirá amplias áreas peatonales y ajardinadas, plataformas reservadas para el transporte público y pacificación del tráfico, y sistemas eficientes adaptados al cambio climático. Esta iniciativa forma parte de la red de corredores verde en las principales avenidas de la ciudad programadas en el Plan de Movilidad Urbana Sostenible aprobado por el Pleno.

La realización del proyecto completo permitirá atender a una media de 3,5 millones de usuarios, lo que significa prácticamente duplicar la capacidad del servicio actual. El metro ligero se desplazará a una velocidad media de 21,6 kilómetros por hora, logrando cubrir la extensión del nuevo trazado en un tiempo promedio de cinco minutos, más concretamente, los tiempos que están proyectados que consiga son los siguientes:

- 3'40'' de San Bernardo a Nervión
- 5'36'' de San Bernardo a Santa Justa
- 18' de Plaza Nueva a Santa Justa

Esta nueva fase de la ampliación del tranvía es el primer paso para la futura conexión directa entre el aeropuerto, la estación de trenes de Santa Justa y el centro de Sevilla.

En palabras del alcalde de Sevilla se trata de “una de las mayores transformaciones urbanas y de la movilidad que se han producido en las últimas décadas” (Antonio Muñoz). (“Las Obras de Ampliación Del Tranvía Empiezan El Jueves,” n.d.)

1.4.1 Corredor Verde

El proyecto de ampliación del Metrocentro a Santa Justa busca crear un entorno más saludable y sostenible a través de la reordenación de los acerados de San Francisco Javier y Luis de Morales, mediante la ubicación de la masa arbórea en las aceras laterales y la creación de zonas de sombra y confort térmico para el peatón y el ciclista, el llamado corredor verde.



Figura 5: Recreación del Ayuntamiento de Sevilla de la nueva zona peatonal de Nervión. (*Respira Nervión — Respira Sevilla*, n.d.)

Se espera reducir las emisiones de CO₂ en 2.392 toneladas al año y se están analizando nuevos sistemas de trasplante para garantizar el traslado seguro de los árboles a parques y espacios verdes municipales, así como la creación de una nueva zona arbolada. Además, se han realizado diversos estudios para determinar la mejor alternativa ecológica y ambiental en las calles afectadas y se busca incrementar la avifauna y el secuestro de dióxido de carbono generado por el arbolado. (*Respira Nervión — Respira Sevilla*, n.d.)

El proyecto del corredor verde incluirá más arbolado y zonas verdes, áreas peatonales y espacios para la convivencia, con la ampliación de los espacios peatonales de tres a cinco metros. Se crearán dos grandes paseos con una superficie de sombra de 15.000 metros cuadrados, que contarán con cerca de 400 árboles y 33.240 arbustos. También se instalará un sistema de drenaje urbano sostenible para el riego y la absorción de lluvias, y se crearán nuevas áreas para la convivencia vecinal. En resumen, el proyecto del corredor verde se enfoca en la creación de áreas verdes, la mejora de los espacios peatonales y la creación de espacios de convivencia, todo ello con una perspectiva sostenible y ecológica.

1.4.2 Polémica con la obra

La ampliación del Metrocentro en Sevilla ha sido objeto de críticas por parte de diversos grupos y asociaciones de la ciudad. Algunas de las principales críticas son las siguientes:

- Falta de transparencia: Algunos grupos críticos con el proyecto han denunciado la falta de transparencia en la gestión del proyecto por parte del Ayuntamiento y la empresa constructora.
- Coste elevado: El coste de la ampliación del Metrocentro ha sido criticado por su elevado coste, que algunos consideran que no se justifica en comparación con otros proyectos de transporte público que

podrían ser más eficaces.

- Impacto en el tráfico: La ampliación del Metrocentro podría tener un impacto negativo en el tráfico rodado de la ciudad, ya que se reducirían los carriles de circulación en algunas calles para dar paso a las vías del tranvía.
- Impacto ambiental: Algunos grupos ecologistas han criticado el proyecto por su impacto en el medio ambiente, ya que se ha tenido que talar árboles y modificar el paisaje urbano para construir las nuevas vías del tranvía.
- Necesidad de otras soluciones: Algunos críticos del proyecto consideran que hay otras soluciones de transporte público más adecuadas y sostenibles, como el uso de autobuses eléctricos o la creación de carriles bici, que podrían ser más eficaces y económicas que la ampliación del Metrocentro.

1.4.3 Polémica con el túnel

La propuesta del Proyecto es que el tranvía transcurra por la superficie (como el tramo existente que va desde Plaza Nueva hasta Viapol) salvo en un tramo en concreto: el giro entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier, el cual transcurre por un túnel similar al existente en Cardenal Bueno Monreal.



Figura 6: Túnel de Cardenal Bueno Monreal a su paso por La Palmera.

Esta elección trae gran controversia a la escena política y la ciudadanía de la ciudad de Sevilla, ya que según apuntan varios medios y personalidades, este túnel no resolverá el problema del cruce con las principales vías de la ciudad.

FERIA 2023 Una farmacia crea un 'kit antirresaca' para la Feria

RENFE AVLO pone a la venta 17.000 billetes a 7 euros en los trenes a Sevilla, Córdoba y Málaga

PROYECTO DE AMPLIACIÓN A SANTA JUSTA

La Red Sevilla por el Clima ve “un dispendio” el túnel del tranvía y pide aplazar la obra

• El alcalde Juan Espadas ha pedido dinero al Banco Europeo de Inversiones y al ICO para ampliar el Metrocentro hasta Nervión y Santa Justa

Figura 7: Titular de un periódico donde se cuestiona dicha infraestructura.(R.S. (Diario De Sevilla), n.d.)



El túnel de ampliación del tranvía no salva ninguna vía principal

La avenida Ramón y Cajal está clasificada en el Plan de Movilidad como secundaria y San Francisco Javier no es ni principal ni secundaria

Figura 8: Artículo con crítica al túnel.(Florencio, n.d.)

El artículo de la Figura 8 se centra en la propuesta del Ayuntamiento de construir un túnel que permitiría ampliar la red de tranvía hacia el norte de la ciudad. Sin embargo, se argumenta que esta solución no resolvería el problema del cruce con las principales vías de la ciudad, ya que el túnel solo permitiría pasar por debajo de ellas, sin evitar el cruce con el tráfico rodado en superficie.

La noticia indica que el túnel no resuelve el problema del tráfico, sino que lo traslada a otro lugar, y cita a expertos en transporte y urbanismo que argumentan que la solución adecuada sería crear un sistema de transporte público que no dependa del tráfico rodado, como el metro o el tren ligero.

Además, la noticia señala que la propuesta de construir el túnel ha generado críticas por parte de algunos grupos políticos y vecinales, que argumentan que el proyecto es demasiado costoso y que se debería invertir en otros proyectos de transporte público que benefician a un mayor número de ciudadanos.

En resumen, la noticia informa sobre la propuesta del Ayuntamiento de Sevilla de construir un túnel de ampliación del tranvía, pero argumenta que esta solución no resolverá el problema del cruce con las principales vías de la ciudad y sugiere que se debería invertir en sistemas de transporte público independientes del tráfico rodado, como el metro o el tren ligero. También se mencionan las críticas a la propuesta por su alto coste y por considerar que hay proyectos de transporte público más necesarios.

1.4.4 Comienzo obras ampliación Metrocentro

Las obras, cuyo comienzo estaba previsto para 2020, se retrasan con motivo de la pandemia. Finalmente, estas se inician el 10 de marzo de 2022, con importantes cortes de tráfico en la zona de Nervión, la zona donde probablemente más viajes haya en toda la ciudad.



Figura 10: Cortes de tráfico a partir de febrero de 2023. (El Ayuntamiento Inicia La Próxima Semana Las Obras de La Plataforma Tranviaria y El Corredor Verde En El Tramo Luis de Morales, Diseña Un Plan Especial de Tráfico Con Rutas Alternativas Por El Corte Total de Esta Vía y Comienza a Liberar Distintas Calles Interiores de La Avenida San Francisco Javier — Actualidad, n.d.)

1.4.5 Retraso en la finalización de las obras

Como se comenta anteriormente, las obras del tranvía retrasan su inicio por la pandemia y en consecuencia, se retrasa su finalización.

En febrero de 2022, cuando dan comienzo las obras, se da una duración de 11 meses hasta la finalización de la misma, es decir, a inicios de 2023 estaría disponible el Metrocentro desde Nervión hasta Plaza Nueva. Pronto, este plazo salta por los aires por diversas complicaciones, algunas genéricas de obras de esta envergadura y otras específicas del Proyecto y de su diseño/concepción.

A continuación, se enumeran algunas de las causas de este retraso:

- Problemas con las contrataciones en la UTE,

AMPLIACIÓN DEL METROCENTRO A NERVIÓN

La obra del tranvía de Sevilla se retrasa por problemas con uno de los contratos

- La adjudicación de las instalaciones a la empresa Cobra por 3,4 millones está paralizada hasta confirmar si sigue vigente la sanción que le impedía formalizar contratos públicos
- Tráfico ha pedido informe del Estado para saber si tiene que volver a licitar el contrato

Figura 11:titular del Diario de Sevilla.(ANA S. AMENEIRO, n.d.)

- Dificultades técnicas con el túnel, el artículo del Diario de Sevilla (Figura 12) informa que el estreno del nuevo tranvía en el barrio sevillano de Nervión se retrasará hasta septiembre debido a problemas

con la ejecución del túnel y varios problemas eléctricos.

Diario de Sevilla

SEVILLA

SEVILLA PROVINCIA ANDALUCÍA ESPAÑA ECONOMÍA SOCIEDAD DEPORTES CULTURA COFRADÍAS OPINIÓN

≡ TODAS LAS SECCIONES

SEVILLA VIVIR JUZGADO DE GUARDIA RUTAS DE SENDERISMO

MOVILIDAD

El estreno del tranvía hasta Nervión se retrasa a septiembre

- Las obras de ampliación se alargarán a julio por los problemas en el túnel y el periodo de pruebas será de dos meses
- [El CESS critica que dejaron de invertirse casi 100 millones en 2021](#)



Figura 12: Noticia en la que se informa del retraso que lleva la obra. (RUESGA, 2023)

- Protestas contra el trasplante de los árboles de la mediana,

Estas y otras complicaciones hacen que en mayo de 2023 la fecha prevista para la finalización sea en septiembre del mismo año.

1.5 Objetivos del trabajo

La ampliación del Metrocentro es un proyecto importante para la ciudad de Sevilla, ya que permitirá mejorar el transporte público y reducir el tráfico en la ciudad. Sin embargo, antes de llevar a cabo la ampliación, es importante evaluar su impacto en diferentes escenarios, como el flujo de tráfico, los tiempos de viaje, la seguridad vial y otros indicadores relevantes.

Aunando todo lo anterior se crea el objetivo principal de este trabajo: evaluar el impacto de la ampliación del Metrocentro en Sevilla, teniendo en cuenta diferentes escenarios.

- Primer Escenario: antes de la actuación.
- Segundo Escenario: ampliación del Metrocentro en configuración con túnel (elegida) y que se está ejecutando.

- Tercer Escenario: ampliación del Metrocentro en configuración sin túnel

Para esta evaluación, se empleará una simulación de tráfico basada en microsimulación que permitirá modelar el comportamiento de los vehículos y peatones en la red vial.

En concreto, se pretende evaluar el impacto de la ampliación del Metrocentro en diferentes aspectos del tráfico, como los tiempos de viaje, la congestión, la seguridad vial y la accesibilidad a diferentes áreas de la ciudad. Para ello, se plantearán diferentes escenarios de ampliación y se simulará el comportamiento del tráfico en cada uno de ellos.



Figura 13: Recreación San Francisco Javier tras las obras. (*Respira Nervión — Respira Sevilla*, n.d.)

Como objetivo adicional del trabajo, dado su carácter académico, se pretende con él evaluar la eficacia de las simulaciones de tráfico como herramienta que brinde asesoramiento en la implantación de grandes políticas de movilidad y estimar su impacto antes llevarlas a cabo, para así ser de utilidad en el diseño óptimo y elección entre las diferentes alternativas a escoger, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones.

1.6 Tipos de simulaciones de tráfico

Para poder evaluar el impacto que tendrá la ampliación del Metrocentro es necesario hacer una simulación de los distintos escenarios. Los diferentes tipos de simulación existentes que pueden clasificarse de diferentes maneras según su enfoque, nivel de detalle, objetivos y metodología, son las siguientes:

- Simulaciones macroscópicas: este tipo de simulaciones modelan el comportamiento del tráfico a nivel de la red vial en su conjunto, sin considerar el comportamiento de vehículos individuales o peatones. Estas simulaciones se enfocan en el flujo de tráfico y la congestión en grandes áreas urbanas o regiones.
- Simulaciones mesoscópicas: estas simulaciones se centran en el comportamiento de grupos de vehículos o peatones, modelando su comportamiento y movimiento como unidades discretas que interactúan entre sí. A menudo se utilizan para simular situaciones de tráfico en áreas urbanas densamente pobladas.
- Simulaciones microscópicas: estas simulaciones modelan el comportamiento individual de vehículos y

peatones, utilizando modelos detallados de comportamiento para simular el movimiento y la interacción de cada vehículo o peatón en la red vial. Estas simulaciones pueden ser muy precisas, pero también son computacionalmente intensivas y requieren datos detallados.

- Simulaciones basadas en agentes: estas simulaciones modelan el comportamiento de los conductores y otros actores del tráfico como agentes individuales que interactúan entre sí. Estas simulaciones pueden ser microscópicas o mesoscópicas, y se utilizan a menudo para simular situaciones complejas de tráfico en áreas urbanas.
- Simulaciones de evacuación: estas simulaciones se utilizan para planificar y diseñar evacuaciones en caso de emergencias, como desastres naturales o accidentes graves. Estas simulaciones pueden ser macroscópicas o mesoscópicas, y se enfocan en el movimiento de grandes grupos de personas en una red vial.
- Simulaciones de tráfico en tiempo real: estas simulaciones se utilizan para la gestión del tráfico en tiempo real, proporcionando información en tiempo real sobre la congestión y los tiempos de viaje para ayudar a los operadores de la red vial a tomar decisiones en tiempo real sobre la gestión del tráfico.

1.6.1 Microsimulación de tráfico

Para el presente proyecto, se ha elegido como técnica de simulación la microsimulación de tráfico. En el presente apartado se argumentan los motivos de esta elección y se ahonda en el concepto y definición de microsimulación.

Una microsimulación de tráfico es una técnica computacional que se utiliza para modelar el comportamiento del tráfico vehicular en una red de carreteras. Es un método detallado y preciso que utiliza datos y parámetros específicos para simular el comportamiento de cada vehículo individual en un área determinada.

La microsimulación de tráfico utiliza modelos matemáticos y de simulación para predecir el flujo de tráfico, las velocidades de los vehículos, los tiempos de viaje, los niveles de congestión y otros factores que influyen en el comportamiento de la circulación vehicular. Estos modelos pueden ser utilizados para predecir los efectos de cambios en el diseño de carreteras, señalización, semáforos y otras medidas de gestión de tráfico.

Algunas de las aplicaciones de la microsimulación de tráfico incluyen la planificación y diseño de carreteras, la evaluación de la seguridad vial, la gestión del tráfico en tiempo real y la simulación de eventos especiales que afectan el tráfico, como conciertos o manifestaciones públicas. La microsimulación de tráfico es una herramienta importante para los ingenieros de tráfico y otros profesionales que trabajan en el diseño y gestión de la circulación vehicular en zonas urbanas y Rurales.

Las ventajas de la microsimulación de tráfico frente al resto de técnicas de simulación y por tanto, los argumentos de la elección para el presente Proyecto son las siguientes:

- Mayor precisión: la microsimulación es capaz de modelar el comportamiento de vehículos y peatones de manera muy detallada, lo que la hace muy precisa en la predicción de los tiempos de viaje, la congestión, la seguridad vial y otros indicadores de tráfico. Este aspecto es importante a la hora de simulaciones de zonas de ciudades pequeñas, como el caso de este Proyecto.
- Modelado de interacciones complejas: la microsimulación puede modelar interacciones complejas entre vehículos y peatones, como adelantamientos, cambios de carril, cruces de peatones, entre otros, lo que permite evaluar situaciones de tráfico complejas y mejorar la seguridad vial.
- Flexibilidad y adaptabilidad: la microsimulación puede adaptarse a diferentes condiciones de tráfico, incluyendo cambios en la infraestructura vial, cambios en el flujo de tráfico y cambios en los comportamientos de los conductores y peatones.
- Análisis de escenarios de planificación: la microsimulación es una herramienta valiosa para la planificación y evaluación de proyectos de infraestructura vial, ya que permite evaluar diferentes escenarios de tráfico y evaluar el impacto de los cambios propuestos.

- Evaluación de políticas y medidas de gestión del tráfico: la microsimulación también es útil para evaluar la efectividad de políticas y medidas de gestión del tráfico, como la implementación de carriles exclusivos para bicicletas, la restricción del tráfico en ciertas áreas, entre otros.

2 HERRAMIENTA PARA LA SIMULACIÓN: PTV VISSIM 2022

2.1 Introducción

La simulación que se pretende acometer se realizará con el software más realista para conocer las variantes del tráfico, ya que permite incluir complejas interacciones entre vehículo, comportamientos de conducción flexibles y sobre todo interacciones con peatones. Además, otra de las ventajas de este programa es que permite trabajar con varios escenarios con modificaciones, que tal y como veremos más adelante resulta muy interesante para el tipo de proyecto al que nos enfrentamos.

Este software es el elegido por el grupo de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la Universidad de Sevilla para realizar las simulaciones microscópicas. El departamento dispone de licencias académicas para los alumnos; esta microsimulación se ha realizado con una de ellas.

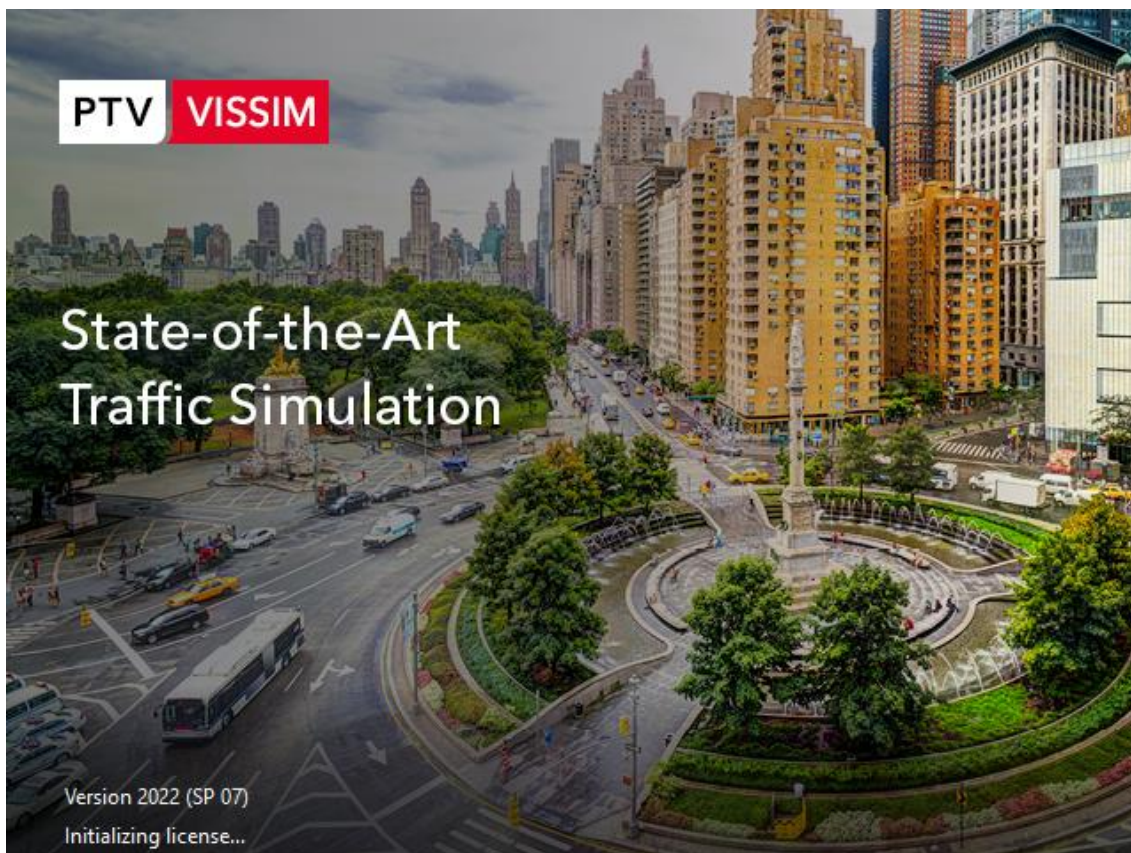


Figura 14: Ventana inicio PTV Vissim

2.2 Interfaz

Este apartado es una resumida guía de la interfaz del programa.

PTV Vissim se compone, como la gran mayoría del software actual, de ventanas, siendo la configuración estándar y más recomendada la de la Figura 15: Configuración de ventanas recomendada de PTV VISSIM. Figura 15 (se enumera en función de los números de la imagen).

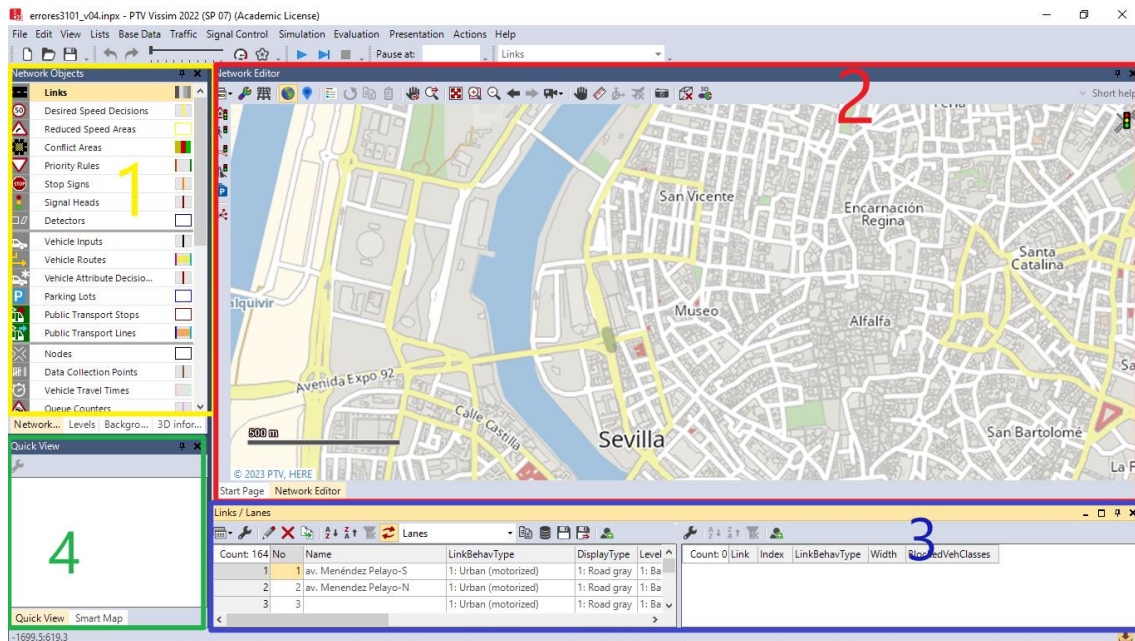


Figura 15: Configuración de ventanas recomendada de PTV VISSIM.

Leyenda:

- 1.- Network Object
- 2.- Network Editor
- 3.-Listas
- 4.-Quick view

A continuación, se explican brevemente cada una de ellas.

2.2.1 Network object:

Se trata del menú desde donde introducir los elementos necesarios para la simulación que se desee, algunos ejemplos de los más importantes son los siguientes:

- **LINKS:** enlace, arco o sección de una carretera que conecta dos intersecciones. En otras palabras, un enlace es una sección de la red de tráfico que une dos nodos o intersecciones, y se utiliza para modelar el flujo de tráfico entre ellos. Para definir un enlace en PTV Vissim, se deben especificar diferentes parámetros, como la longitud del enlace, el número de carriles, la velocidad máxima permitida, las características geométricas de la carretera (curvas, pendientes, etc.), y otros detalles relevantes para el

modelado del tráfico. Otro parámetro reseñable a seleccionar es el tipo de Comportamiento que se seguirá en esta vía (“Link behavior Type”).

Count	Index	Width	LinkBehavT...	BlockedVe...	DisplayType	NoLnChLAI...	NoLnChRAI...	NoLnChLve...	NoLnChRV...
1	1	2,50				☐	☐	☐	☐

Figura 16: Ventana configuración Links.

- **CONFLICTS AREAS:** prioridad en intersecciones donde existe un alto riesgo de colisión o accidente debido a la interacción entre diferentes vehículos o usuarios de la vía. Estas áreas se identifican mediante el análisis de los flujos de tráfico y la evaluación de los movimientos de los vehículos en la red de carreteras.

Para seleccionar la de prioridad, es necesario clicar en el área hasta que la que deseemos aparezca en color verde, tal y como aparece en la imagen de una intersección ejemplo.



Figura 17: Conflict area en Vissim.

- **REDUCES SPEED AREAS:** se refieren a secciones de la carretera donde la velocidad máxima permitida se reduce temporalmente por diferentes motivos.
- **SIGNAL HEADS:** para incluir señales, semáforos y demás controladores de seguridad vial.
- **VEHICLE INPUTS:** esta herramienta permite definir la ubicación y las características de los vehículos que ingresan a la red de tráfico. Por ejemplo, se puede definir la cantidad de vehículos que ingresan en un determinado momento, su tipo (como automóviles, motocicletas, camiones, autobuses, etc.), su

velocidad, su aceleración y su comportamiento al cambiar de carril. Es decir, representa el punto de origen de los vehículos en el modelo de simulación de tráfico.

- **VEHICLE ROUTES:** permite definir la ruta que un vehículo debe seguir en la red de tráfico, desde su punto de origen hasta su destino final. Para definir las rutas de los vehículos, se pueden utilizar diferentes métodos, como la definición manual de la ruta, la definición basada en GPS o la definición basada en la información del mapa.

En el siguiente ejemplo, los vehículos tienen una ruta vehicular para girar a la izquierda.



Figura 18: Ejemplo de ruta vehicular en PTV Vissim

- **PUBLIC TRANSPORT STOPS:** esta herramienta brinda la posibilidad de incluir paradas de transporte público, tales como paradas de autobús o tranvía.
- **PUBLIC TRANSPORT LINES:** La herramienta de "transporte público" en PTV Vissim permite modelar el comportamiento y las características específicas de los vehículos de transporte público, como la velocidad, la aceleración, la capacidad y los horarios de los vehículos. Además, permite modelar la infraestructura asociada con los vehículos de transporte público, como las paradas y las estaciones de carga.
- **AREAS:** forma parte de la parte operacional de Vissim, es el equivalente a los Links de los vehículos.
- **PEDESTRIAN INPUTS:** los peatones se pueden simular mediante el uso de entradas de peatones, que son puntos de entrada y salida de los peatones en el área de la simulación. Las entradas de peatones se utilizan para modelar la cantidad de peatones que ingresan y salen de un área determinada, como una calle peatonal, una plaza o una estación de transporte público.
- **PEDESTRIAN ROUTES:** herramienta que se utiliza para modelar la forma en que los peatones se mueven en un área determinada en la simulación. Las rutas de peatones son similares a las rutas de vehículos y se utilizan para definir los caminos que los peatones siguen en la simulación.

2.2.2 Network Editor

El Network Editor es la ventana principal del software, una herramienta que permite a los usuarios crear y editar redes de tráfico en 2D y 3D para la simulación de tráfico en diferentes situaciones. En ella, se construyen los modelos que se pretenden simular sobre la ubicación real en el mapa, de forma que facilite el modelado.

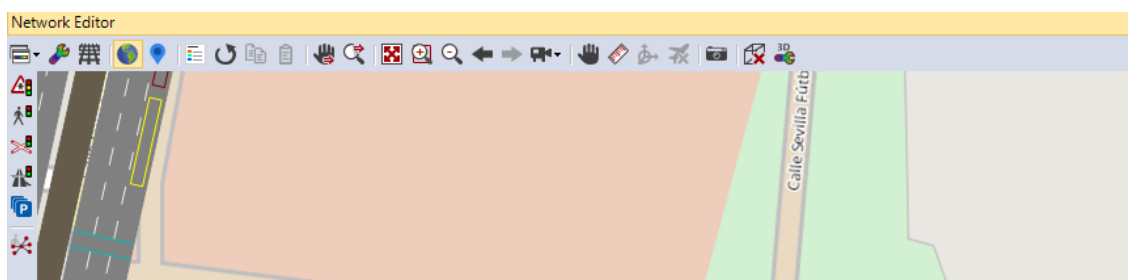


Figura 19: Opciones de visualización en Network Editor

En esta ventana del programa es posible crear redes de carreteras complejas en 3D, incluyendo intersecciones, carreteras de varios carriles, carriles exclusivos para autobuses, carriles bici y zonas de estacionamiento. Además de agregar elementos de control de tráfico, como semáforos y señales de tráfico, y definir las reglas de tráfico en la red.

Los usuarios pueden utilizar diferentes opciones para visualizar y ajustar la red de carreteras en 3D, lo que les permite crear una simulación precisa y realista del tráfico en la red. En general, el Network Editor en PTV Vissim es una herramienta valiosa para la creación y edición de redes de tráfico en 3D para la simulación de tráfico en diferentes situaciones y condiciones de tráfico.

2.2.3 Listas

En PTV Vissim, las "listas" son una herramienta que se utiliza en la interfaz del programa para visualizar y editar información sobre los objetos que se han creado en la red de tráfico. Las listas son una forma de presentar información en forma de tabla, con filas y columnas, lo que facilita la lectura y la edición de la información.

A modo de ejemplo, se puede observar una lista de Entradas de vehículos definidas en un modelo.

Count	No	Name	Link	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
2	4		5	1229,0	1: Av. estandar
3	6		11: Peatones Av. el CID	1000,0	4: Peatones
4	7		12: Peatones Av. el CID	1000,0	4: Peatones
5	8		14: Peatones av. Carlos V	400,0	4: Peatones
6	9		13: Peatones av. Carlos V	400,0	4: Peatones
7	10		15: Peatones av. Menéndez Pela...	800,0	4: Peatones
8	11		16: Peatones av. Menéndez Pela...	800,0	4: Peatones
9	13		19: Juan de Mata S	100,0	3: Autobuses
10	14		19: Juan de Mata S	518,0	1: Av. estandar
11	23		20: Juan de Mata S	731,0	1: Av. estandar
12	26		23: Peatones Juan de Mata	450,0	4: Peatones
13	27		24: Peatones Juan de Mata	450,0	4: Peatones

Figura 20: Ejemplo de listas en Vissim. Vehicle Inputs.

Son de gran utilidad para visualizar y editar información sobre diferentes objetos, como vehículos, señales de tráfico, líneas de transporte público, etc. Por ejemplo, una lista de vehículos puede mostrar información como la velocidad, la posición, la aceleración, la longitud y el tipo de vehículo para cada vehículo que se está simulando.

Las listas en PTV Vissim también permiten ordenar y filtrar la información de diferentes maneras, lo que facilita la búsqueda y la selección de objetos específicos en la red de tráfico. Además, las listas pueden ser exportadas a formatos de archivo como Excel o CSV para su posterior análisis.

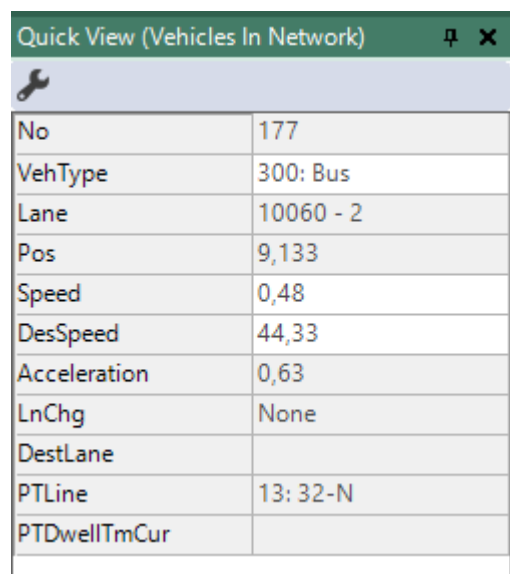
En resumen, las listas en PTV Vissim son una herramienta de la interfaz que se utiliza para visualizar y editar información sobre los objetos de la red de tráfico en forma de tabla. Las listas permiten ordenar y filtrar la información de diferentes maneras y pueden ser exportadas a otros formatos de archivo para su posterior análisis.

2.2.4 Quick View

Esta herramienta de análisis en tiempo real disponible en PTV Vissim que permite a los usuarios ver y analizar los resultados de la simulación de tráfico en tiempo real. Con Quick View, los usuarios pueden obtener información detallada sobre el flujo de tráfico, la velocidad, la densidad y otros parámetros de la simulación de tráfico, lo que permite una rápida identificación de problemas o cuellos de botella.

Proporciona una vista de la simulación de tráfico en tiempo real con una interfaz fácil de usar. Los usuarios pueden personalizar la vista para centrarse en áreas específicas de la simulación, como intersecciones o carriles específicos. Los usuarios también pueden ver el estado de los semáforos y otros dispositivos de control de tráfico en tiempo real.

A modo de ejemplo, en la siguiente captura de una simulación, se ha clicado en un vehículo cualquiera, un autobús en este caso, y brinda la siguiente información, entre la que destaca la velocidad, la línea de transporte público que sigue (o la ruta vehicular si fuera otro tipo de vehículo), aceleración o velocidad deseada entre otras.



Quick View (Vehicles In Network)	
No	177
VehType	300: Bus
Lane	10060 - 2
Pos	9,133
Speed	0,48
DesSpeed	44,33
Acceleration	0,63
LnChg	None
DestLane	
PTLine	13: 32-N
PTDwellTmCur	

Figura 21: Ejemplo de Quick View.

En general, Quick View en PTV Vissim es una herramienta valiosa para analizar el flujo de tráfico en tiempo real y realizar ajustes en tiempo real para mejorar la eficiencia y la seguridad del tráfico en la simulación.

2.3 Modelo de Car-following de Wiedemann

PTV Vissim utiliza para simular el comportamiento individual de los vehículos en una carretera un modelo de simulación llamado modelo de tráfico de Wiedemann. La microsimulación se utiliza para analizar el comportamiento detallado de los vehículos, y el modelo de tráfico de Wiedemann es uno de los modelos más utilizados.

Este modelo está basado en la idea de que cada conductor es un agente independiente que toma decisiones en función de la información que recibe sobre su entorno. Estas decisiones incluyen la aceleración, la desaceleración, el cambio de carril y el seguimiento de otros vehículos.

Asimismo, utiliza una serie de ecuaciones matemáticas para modelar el comportamiento de los vehículos y

simular el tráfico en una carretera. Estas ecuaciones tienen en cuenta una serie de factores, como la velocidad, la aceleración, la distancia de seguimiento, la reacción del conductor, la visibilidad y la capacidad de frenado del vehículo.

Los parámetros del modelo de tráfico de Wiedemann pueden ser ajustados por los usuarios para simular diferentes situaciones de tráfico. Algunos de estos parámetros incluyen la densidad de tráfico, la velocidad límite, la longitud de los vehículos y la distancia de seguimiento.

Permite simular una amplia variedad de situaciones de tráfico, como congestión, colisiones, adelantamientos y cambios de carril. También se pueden utilizar diferentes tipos de vehículos en la simulación, como automóviles, camiones y motocicletas.

En resumen, el modelo de tráfico de Wiedemann es un modelo de microsimulación utilizado en PTV Vissim para simular el comportamiento individual de los vehículos en una carretera. Este modelo se basa en la idea de que cada conductor es un agente independiente que toma decisiones en función de la información que recibe sobre su entorno, y utiliza una serie de ecuaciones matemáticas y parámetros para modelar el comportamiento de los vehículos y simular diferentes situaciones de tráfico.

2.4 Modelo Wiedemann 74

El modelo de Wiedemann '74 es un modelo de comportamiento de conducción desarrollado por el Dr. Ralf Wiedemann en 1974. Este modelo se utiliza para simular el comportamiento de los conductores en situaciones de tráfico y se ha utilizado ampliamente en estudios de ingeniería de tráfico y simulaciones de tráfico.

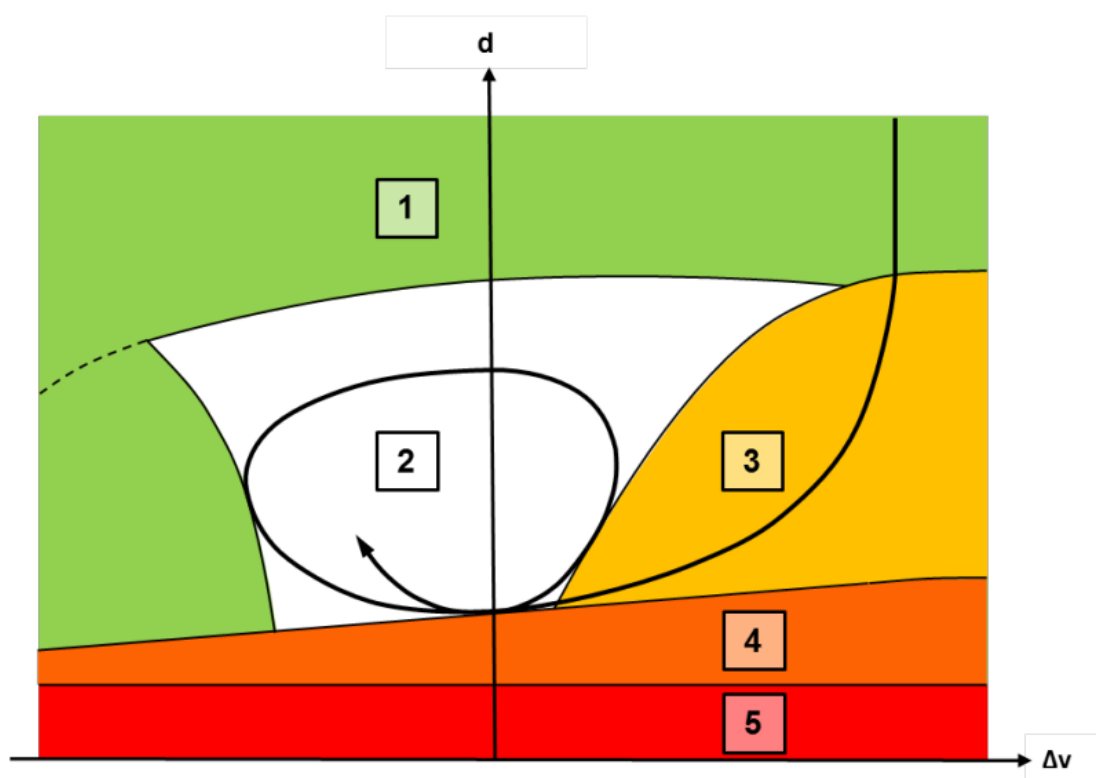


Figura 22: Modelo de seguimiento de Wiedemann 1974.(PTV Group, 2022)

1: Comportamiento libre	4: Frenado
-------------------------	------------

2: Seguimiento	5: Colisión
3: Aproximación	

Conducción libre se refiere a una situación en la que un vehículo no está siendo afectado por la presencia de ningún vehículo delante de él. En contraste, la aproximación ocurre cuando un conductor percibe que hay un vehículo más lento delante de él y es conscientemente influenciado por él. En el seguimiento, el vehículo está en proceso de seguir al vehículo que está delante de él y es influenciado por él de manera no consciente. Finalmente, el frenado de emergencia se produce cuando el vehículo está demasiado cerca del vehículo que está delante de él y debe frenar para evitar una colisión.

El sistema de seguimiento de vehículos fue ajustado utilizando los resultados de pruebas llevadas a cabo por el Instituto de Estudios de Transporte del Instituto Karlsruhe de Tecnología en Alemania. El modelo de aceleración de los vehículos fue calibrado para responder de la siguiente manera ante diferentes situaciones de seguimiento:

- Cuando la distancia de seguridad deseada está al límite de lo que el conductor considera seguro, el vehículo se mantendrá a la misma velocidad que el que le precede.
- Si la distancia de seguridad deseada es un 10% mayor a la estimada por el conductor, el vehículo ajustará su velocidad a un valor intermedio entre la velocidad deseada y la velocidad real del vehículo que le precede.
- Si la distancia de seguridad deseada es mayor a un 10%, el vehículo acelerará libremente hasta alcanzar la velocidad deseada.

2.5 Modelo 99 de Wiedemann.

En el año 1991 fue presentada una versión mejorada del modelo de Wiedemann 74. Este modelo se basa en la teoría de que los conductores ajustan su velocidad y posición en función de los vehículos que los rodean y de las condiciones del camino. Diferencias con el modelo 74:

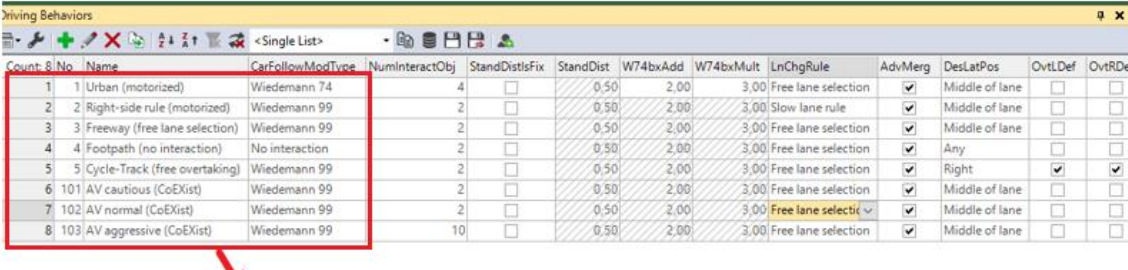
- Es posible simular diferentes tipos de vehículos con diferentes características de comportamiento, incluyendo vehículos pesados y vehículos con remolque. Además, el modelo de Wiedemann 99 tiene en cuenta la influencia del ángulo de visión del conductor en la toma de decisiones, y también considera la influencia de las maniobras de cambio de carril en el comportamiento del tráfico.
- La versión Wiedemann 99 utiliza una fórmula de seguimiento de velocidad variable, que tiene en cuenta la velocidad del vehículo líder, mientras que la versión Wiedemann 74 utiliza una fórmula de seguimiento de velocidad fija. Esto significa que en el modelo Wiedemann 99, los vehículos pueden seguir al vehículo líder a una distancia más cercana cuando este va más despacio, mientras que en el modelo Wiedemann 74, la distancia de seguimiento se mantiene constante.
- Otra mejora importante del modelo de Wiedemann 99 es su capacidad para simular mejor los patrones de congestión y los efectos de las interacciones entre vehículos en la formación de atascos. Esto se logra mediante la introducción de un modelo de seguimiento basado en la velocidad relativa, que permite a los conductores ajustar su velocidad y posición en función de la velocidad y posición de los vehículos cercanos.

Como conclusión, el modelo de Wiedemann 99 es una versión mejorada y más precisa del modelo original de Wiedemann 74, que tiene en cuenta una serie de factores adicionales en la simulación del comportamiento del tráfico vehicular en carreteras y autopistas.

2.6 Selección de modelos y modificación de los mismos

Como se ha explicado anteriormente, en el momento de crear un Link, se ha de seleccionar el comportamiento (“behavior types”) que seguirán los vehículos que transcurran por dicha vía. El programa incluye una serie de comportamientos: Urban, Freeway, Footpath... Además, tiene la posibilidad de crear más behavior types.

Es posible modificar los modelos de comportamiento de los vehículos, pero por defecto, el software tiene los siguientes:



Count: 8	No	Name	CarFollowModType	NumInteractObj	StandDistFix	StandDist	W74bxAdd	W74bxMult	LnChgRule	AdvMerg	DesLatPos	OvtLDef	OvtRDe
1	1	Urban (motorized)	Wiedemann 74	4	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐
2	2	Right-side rule (motorized)	Wiedemann 99	2	☐	0,50	2,00	3,00	Slow lane rule	☒	Middle of lane	☐	☐
3	3	Freeway (free lane selection)	Wiedemann 99	2	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐
4	4	Footpath (no interaction)	No interaction	2	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Any	☐	☐
5	5	Cycle-Track (free overtaking)	Wiedemann 99	2	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Right	☒	☒
6	101	AV cautious (CoEXist)	Wiedemann 99	2	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐
7	102	AV normal (CoEXist)	Wiedemann 99	2	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐
8	103	AV aggressive (CoEXist)	Wiedemann 99	10	☐	0,50	2,00	3,00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐

Count: 8	No	Name	CarFollowModType
1	1	Urban (motorized)	Wiedemann 74
2	2	Right-side rule (motorized)	Wiedemann 99
3	3	Freeway (free lane selection)	Wiedemann 99
4	4	Footpath (no interaction)	No interaction
5	5	Cycle-Track (free overtaking)	Wiedemann 99
6	101	AV cautious (CoEXist)	Wiedemann 99
7	102	AV normal (CoEXist)	Wiedemann 99
8	103	AV aggressive (CoEXist)	Wiedemann 99

Figura 23: Modelos usados en diferentes configuraciones de vías.

Además, cada Comportamiento de conducción es modificable. Vissim da la opción de modificar los parámetros que definen estos comportamientos (parámetros físicos del seguimiento, modelo de car-following, cambio de carril o reacción frente a señales de control)

A modo de ejemplo, se exponen los parámetros por defecto que incluye el modelo Urban.

- Parámetros que afectan al seguimiento de vehículos: es posible modificar los valores de la distancia visible para el vehículo, tanto hacia atrás como hacia adelante. Además, también se pueden editar los parámetros que gobiernan la recuperación de los vehículos tras un frenado.

Driving Behavior [?] [X]

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following | Car following model | Lane Change | Lateral | Signal Control | Autonomous Driving | Driver Errors | Meso

Look ahead distance

Minimum: 0,00 m

Maximum: 500,00 m

Number of interaction objects: 4

Number of interaction vehicles: 99

Look back distance

Minimum: 0,00 m

Maximum: 150,00 m

Behavior during recovery from speed breakdown

☐ Slow recovery

Speed: 60,0 %

Acceleration: 40,0 %

Safety distance: 110,0 %

Distance: 2000 m

☐ Standstill distance for static obstacles: 0,50 m

☒ Jerk limitation

OK Cancel

Figura 24: Modelo de flujo en Urban.

- **Modelo de Seguimiento de vehículos:** en esta pestaña se pueden modificar los parámetros del modelo usado para el seguimiento de vehículos. En la imagen se puede observar los parámetros editables en el Modelo de Wiedemann 74 (el más adecuado para simular vías urbanas).

Los parámetros que se pueden modificar son referidos a la distancia de seguridad que guardarán los vehículos con los adelante. Por ejemplo, si un modelo fuera totalmente llano y con unas condiciones de vía adecuadas, estos parámetros se podrían reducir, disminuyendo de esta forma las distancias que guardarían los vehículos entre ellos.

Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Autonomous Driving Driver Errors Meso

Wiedemann 74

Model parameters

Average standstill distance: 2,00 m

Additive part of safety distance: 2,00

Multiplic. part of safety distance: 3,00

Following behavior depending on the vehicle class of the leading vehicle:

Count	VehClass	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult	W99cc0	W99cc1Distr	IncrsAccel
0	W74ax						

Figura 25: Modelo de seguimiento de vehículos en Urban.

- Cambio de carril: el modelo usado en simulaciones urbanas es el *Free Lane Change*, esto quiere decir que los adelantamientos no son solo por la izquierda (depende de donde se quiera girar). En cambio, si el modelo es una red no urbana, el modelo a seleccionar debe de ser el *Slow Lane Rule*.

Esta pestaña permite modificar diferentes parámetros relacionados con los cambios de carril, como por ejemplo la deceleración, deceleración máxima, reducción de la distancia de seguridad...

Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Autonomous Driving Driver Errors Meso

General behavior: Free lane selection

Necessary lane change (route)

	Own	Trailing vehicle
Maximum deceleration:	-4,00 m/s²	-3,00 m/s²
- 1 m/s² per distance:	100,00 m	100,00 m
Accepted deceleration:	-1,00 m/s²	-1,00 m/s²

Waiting time before diffusion: 60,00 s ☐ Overtake reduced speed areas

Min. clearance (front/rear): 0,50 m ☒ Advanced merging

To slower lane if collision time is above. 11,00 s ☒ Vehicle routing decisions look ahead

Safety distance reduction factor: 0,60

Maximum deceleration for cooperative braking: -3,00 m/s²

☐ Cooperative lane change

Maximum speed difference: 10,80 km/h

Maximum collision time: 10,00 s

☐ Rear correction of lateral position

Maximum speed: 3,00 km/h

Active during time period from 1,00 s until 10,00 s after lane change start

OK Cancel

Figura 26: Modelo de cambio de carril en Urban.

2.7 Modelo de cambio de carril

El modelo de cambio de carril en PTV Vissim es una parte importante del comportamiento de los vehículos en una simulación de tráfico. El modelo de cambio de carril en PTV Vissim se utiliza para simular el comportamiento de los conductores al cambiar de carril, incluyendo la decisión de cambiar de carril, la elección del carril de destino y la maniobra de cambio de carril.

El modelo de cambio de carril en PTV Vissim se basa en la idea de que los conductores cambian de carril para mejorar su posición en la carretera y para evitar situaciones de tráfico peligrosas. El modelo tiene en cuenta una serie de factores que influyen en la decisión de un conductor de cambiar de carril, como la velocidad, la densidad de tráfico, la posición relativa de los vehículos y las restricciones del carril.

Cuando un conductor decide cambiar de carril, el modelo de cambio de carril en PTV Vissim utiliza una serie de ecuaciones matemáticas para determinar la probabilidad de éxito de la maniobra de cambio de carril. Estas ecuaciones tienen en cuenta una serie de factores, como la velocidad, la distancia de seguimiento, la distancia lateral, la aceleración y la desaceleración.

El modelo de cambio de carril en PTV Vissim también tiene en cuenta la posibilidad de conflictos entre vehículos durante una maniobra de cambio de carril. Por ejemplo, si dos vehículos intentan cambiar al mismo carril al mismo tiempo, el modelo de cambio de carril en PTV Vissim determina cuál de los vehículos tiene prioridad y qué maniobras deben realizar los otros vehículos para evitar una colisión.

En resumen, el modelo de cambio de carril en PTV Vissim es una parte importante del comportamiento de los vehículos en una simulación de tráfico. El modelo tiene en cuenta una serie de factores que influyen en la decisión de un conductor de cambiar de carril y utiliza ecuaciones matemáticas para determinar la probabilidad de éxito de la maniobra de cambio de carril. También tiene en cuenta la posibilidad de conflictos entre vehículos durante una maniobra de cambio de carril y determina qué maniobras deben realizar los vehículos para evitar una colisión.

2.8 Gestión de escenarios.

La gestión de escenarios en PTV VISSIM se refiere al proceso de crear, organizar y gestionar diferentes escenarios de tráfico para fines de simulación. En PTV VISSIM, un escenario es una colección de archivos que describen la red vial, los vehículos y otros objetos, así como la demanda de tráfico y los ajustes de simulación.

Esta herramienta permite a los usuarios crear, modificar y simular diferentes escenarios de tráfico.

La gestión de escenarios en PTV Vissim permite a los usuarios comparar los resultados de diferentes escenarios para determinar cuál es la opción más efectiva para abordar un problema de tráfico específico. Además, esta herramienta ayuda a tomar decisiones informadas y a optimizar la planificación y gestión del tráfico.

La simulación de diferentes escenarios de tráfico en un entorno virtual permite probar diferentes estrategias de gestión de tráfico antes de implementarlas en la realidad, lo que puede minimizar los riesgos asociados con la implementación de nuevas estrategias y reducir el costo de los proyectos de transporte.

En general, la gestión de escenarios en PTV Vissim es una herramienta poderosa que ayuda a analizar y comprender mejor el comportamiento del tráfico en diferentes situaciones y condiciones.

2.8.1 Pasos para crearlo

Para crear un nuevo escenario en PTV VISSIM, se pueden seguir estos pasos:

- PTV VISSIM y hacer clic en Archivo > Nuevo.
- En el cuadro de diálogo Nuevo archivo, seleccionar el tipo de escenario que se desea crear (por ejemplo, simulación microscópica, simulación mesoscópica o editor de red).
- Introduce un nombre y ubicación para tus archivos de escenario y haz clic en Aceptar.
- En el cuadro de diálogo Parámetros del escenario, establecer los ajustes de simulación y los parámetros de demanda de tráfico para tu escenario.
- Utilizar el editor de red y otras herramientas en PTV VISSIM para crear la red vial y agregar vehículos, semáforos y otros objetos a tu escenario.
- Guardar los archivos de escenario y ejecuta la simulación para analizar el flujo y comportamiento del tráfico.

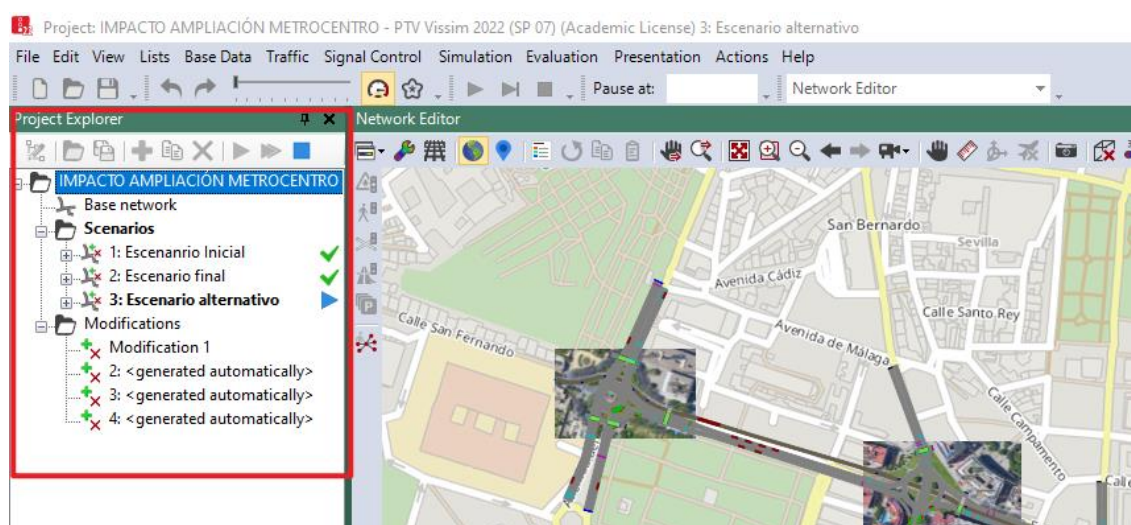


Figura 27: Estructura de proyecto en Scenario Management.

Una vez que creado un escenario en PTV VISSIM, es posible puedes guardar, editar y reutilizar para futuras simulaciones. También se pueden crear múltiples escenarios para comparar diferentes escenarios de tráfico, probar diferentes estrategias de gestión de tráfico o analizar el impacto de diferentes cambios en la infraestructura en el flujo de tráfico.

2.8.2 Ventajas

Es recomendable usar la gestión de escenarios en PTV Vissim ya que brinda numerosas ventajas, entre las que se encuentran:

- Permite crear y simular diferentes escenarios de tráfico: La creación de diferentes escenarios de tráfico en PTV VISSIM permite simular y analizar el comportamiento del tráfico en diferentes condiciones, como diferentes niveles de demanda de tráfico, diferentes horarios, diferentes tipos de vehículos, diferentes tipos de infraestructura, etc. Esto ayuda a los usuarios a obtener una mejor comprensión del comportamiento del tráfico en diferentes situaciones y condiciones.
- Facilita la comparación de diferentes escenarios: La capacidad de crear y simular diferentes escenarios de tráfico en PTV VISSIM permite a los usuarios comparar y evaluar los resultados obtenidos para cada

uno de ellos. Esto facilita la identificación de los escenarios más efectivos y eficientes para abordar problemas de tráfico específicos.

- Permite probar diferentes estrategias de gestión de tráfico: PTV VISSIM permite a los usuarios probar diferentes estrategias de gestión de tráfico en un entorno virtual antes de implementarlas en la realidad. Esto ayuda a identificar las estrategias más efectivas y a minimizar los riesgos asociados con la implementación de nuevas estrategias.
- Ayuda a optimizar la infraestructura de transporte: Al simular diferentes escenarios de tráfico, es posible analizar el impacto de diferentes cambios en la infraestructura de transporte, como la construcción de nuevas carreteras, la adición de carriles exclusivos para bicicletas, la implementación de sistemas de transporte público, etc. Esto facilita la toma de decisiones informadas y la optimización de la infraestructura de transporte existente.
- Mejora la seguridad vial: La simulación de diferentes escenarios de tráfico en PTV VISSIM permite analizar y evaluar el comportamiento del tráfico en diferentes situaciones, como la presencia de peatones, la interacción entre diferentes modos de transporte, etc. Esto puede ayudar a identificar posibles riesgos y mejorar la seguridad vial.

Como conclusión, la gestión de escenarios en PTV VISSIM brinda la posibilidad de analizar y comprender mejor el comportamiento del tráfico en diferentes situaciones y condiciones, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad del transporte.

2.9 Simulaciones en PTV Vissim

Como se ha comentado anteriormente, el software de simulación es de naturaleza estocástica, esto se refiere a la aleatoriedad o incertidumbre presente en el comportamiento del tráfico en una red de carreteras y calles. Es un modelo estocástico porque se basa en la generación de eventos aleatorios que afectan el flujo de tráfico, como la llegada de nuevos vehículos, la aparición de accidentes, la congestión del tráfico, etc

En PTV Vissim, se pueden definir eventos estocásticos y parámetros aleatorios para simular la variabilidad en el comportamiento del tráfico. Por ejemplo, es posible definir un flujo de tráfico como una distribución de probabilidad, donde la llegada de vehículos sigue una distribución de Poisson. También es posible definir eventos estocásticos como accidentes, descomposturas, cierre de calles, etc., con una probabilidad y duración aleatoria.

Al simular la red de carreteras y calles, es importante tener en cuenta la naturaleza estocástica del modelo y realizar varias simulaciones para obtener una comprensión completa del comportamiento del tráfico en diferentes condiciones. De esta manera, se puede obtener una mejor representación del comportamiento real del tráfico y tomar decisiones informadas sobre el diseño y la operación de las redes de carreteras y calles.

Otro aspecto a tener en cuenta son las semillas (o "seeds" en inglés), son valores de inicio que se utilizan para generar valores aleatorios en una simulación. Estos valores aleatorios pueden ser utilizados para simular la llegada de vehículos, la ocurrencia de eventos aleatorios como accidentes o congestión de tráfico, o para definir la variabilidad en el comportamiento del conductor. PTV Vissim utiliza diferentes distribuciones aleatorias con varias funciones en una misma simulación. Por ejemplo, para la generación de vehículos y peatones, semáforos, y para la variabilidad en el comportamiento del conductor.

Es importante utilizar semillas adecuadas para garantizar la reproducibilidad de las simulaciones. Si se utiliza la misma semilla en diferentes simulaciones, se generarán los mismos valores aleatorios, lo que permite detectar anomalías en los resultados de las simulaciones al compararlos con la realidad y así favorecer la fase de

calibración del modelo. Una vez concluida la calibración del modelo, con unos resultados con alto grado de fiabilidad y gran dosis de realismo, no tiene sentido repetir la simulación. Sin embargo, cambiando la semilla, se obtiene otro escenario que aporta otros resultados igualmente fiables.

Por tanto, para obtener resultados es recomendable **realizar múltiples simulaciones utilizando diferentes semillas** para obtener una comprensión más completa de la variabilidad en los resultados. Según la utilidad de la simulación, convendrá escoger los valores medios de todas las simulaciones, o los valores mínimos o máximos.

Para poder realizar varias simulaciones con varias semillas hay que seguir entrar en Evaluation > Configuration, aquí aparecerá la siguiente ventana. En ella, se pueden modificar los siguientes parámetros:

Simulation parameters

Simulation is running. Some changes of network objects are not possible.

General | Meso

Comment:

Period: 4200 s Simulation seconds

Start time: 00:00:00

Start date: 03/03/2023

Simulation resolution: 10 Time step(s) / simulation second

Random Seed: 42

Number of runs: 1

Random seed increment: 1

Dynamic assignment volume increment: 0,00 %

Simulation speed: ☐ Factor: 10,0 ☒ Maximum

☐ Retrospective synchronization

☐ Break at: 0 s Simulation seconds

Number of cores: use all cores

OK Cancel

Figura 28: Parámetros de ejecución.

- *Period*: tiempo que el modelo estará simulando. Para redes complejas es recomendable tomar un tiempo previo de “precalentamiento” para que le de tiempo a llenarse a la red, y no recabar datos de dicho periodo que al tener menos tráfico no son representativos del comportamiento real.

- *Simulation resolution*: se refiere a la frecuencia con la que se actualiza el modelo de simulación para reflejar el estado del tráfico. Es decir, la resolución de la simulación se refiere a la frecuencia con la que se actualizan los datos de los vehículos, los semáforos y otros elementos de la red. Un intervalo de tiempo de simulación más corto significa que se actualiza con mayor frecuencia el estado del tráfico, lo que resulta en una simulación más detallada y precisa, pero también puede aumentar la carga computacional de la simulación.
- *Random seed*: como se ha especificado anteriormente se trata de la semilla con la que comienza el modelo estocástico
- *Numer of runs*: simulaciones que se realizarán cuando se simule el modelo
- *Random seed increment*: incremento de la semilla en cada simulación de las elegidas anteriormente. Por ejemplo, si se quieren realizar 5 simulaciones para tener unos datos más cercanos a la realidad, la semilla inicial es 2 y el incremento de semilla es 1, las semillas en cada simulación serán:
 - Para la simulación 1: 2
 - Para la simulación 2: 3
 - Para la simulación 3: 4
 - Para la simulación 4: 5
 - Para la simulación 5: 6

2.10 Comparativa de escenarios

PTV Vissim permite comparar varios escenarios de simulación para evaluar diferentes opciones de planificación de transporte y determinar cuál es la más efectiva en términos de rendimiento de la red y del tráfico. Algunos de los resultados que se pueden analizar para comparar escenarios son los siguientes:

- Tiempo de viaje: se puede comparar el tiempo de viaje promedio en los diferentes escenarios para evaluar su eficacia en la mejora del rendimiento de la red de transporte. Un escenario que reduce el tiempo de viaje en comparación con otros es más efectivo en términos de mejorar la movilidad de los usuarios de la red de transporte.
- Velocidad media del tráfico: se puede comparar la velocidad media del tráfico en diferentes escenarios para determinar cuál es más efectivo en reducir la congestión y mejorar la capacidad de la red de transporte.
- Nivel de servicio de la red de transporte: puede ser medido utilizando diferentes indicadores como el porcentaje de tiempo en el que los vehículos están en espera, la densidad del tráfico, la velocidad del tráfico, entre otros. Comparar el nivel de servicio en diferentes escenarios ayuda a determinar cuál es la opción más eficaz para mejorar la movilidad en la red de transporte.
- Efecto en el medio ambiente: se pueden comparar los resultados de la simulación en términos de la emisión de gases de efecto invernadero, el consumo de energía y la contaminación del aire para evaluar el impacto ambiental de los diferentes escenarios de planificación del transporte. La versión de la que se dispone para este proyecto, solo es posible evaluar la contaminación en los nodos, no en la red entera.

Para este proyecto, que mide el impacto que tendrá una actuación sobre la red actual, tiene mayor sentido fijarse en el nivel de servicio de los diferentes escenarios. Así, los parámetros más importantes que determinan el nivel de servicio en el software son los siguientes.

- Velocidad media del tráfico: la velocidad media del tráfico se calcula como la distancia recorrida por los vehículos dividida por el tiempo de viaje y se utiliza para evaluar la velocidad promedio del tráfico en una sección de la red.
- Densidad del tráfico: la densidad del tráfico se refiere al número de vehículos que circulan en una sección de la red en un momento determinado y se utiliza para evaluar la capacidad de la sección para manejar el volumen de tráfico.
- Flujo de tráfico: el flujo de tráfico se refiere al número de vehículos que pasan por una sección de la red en un período de tiempo determinado y se utiliza para evaluar la capacidad de la sección para manejar el volumen de tráfico.
- Retardo: el retardo se refiere al tiempo adicional que un vehículo tarda en viajar a través de una sección de la red debido a la congestión del tráfico y se utiliza para evaluar el nivel de servicio de la red.
- Tiempo de viaje: el tiempo de viaje se refiere al tiempo que tarda un vehículo en viajar desde su origen hasta su destino y se utiliza para evaluar la eficacia de la red de transporte en la prestación del servicio.
- Número de vehículos que esperan: este parámetro se refiere al número de vehículos que se encuentran detenidos y esperando en una sección de la red. Se utiliza para evaluar la capacidad de la sección para manejar el volumen de tráfico y para identificar puntos de congestión.
- Tiempo de espera: el tiempo de espera se refiere al tiempo que un vehículo pasa detenido y esperando en una sección de la red. Se utiliza para evaluar el nivel de servicio de la red y la eficacia de la señalización de tráfico.
- Índice de saturación: el índice de saturación se refiere al nivel de utilización de una sección de la red y se calcula como el flujo de tráfico dividido por la capacidad máxima de la sección. Este parámetro se utiliza para evaluar la capacidad de la sección para manejar el volumen de tráfico.
- Porcentaje de tiempo de congestión: este parámetro se refiere al porcentaje de tiempo en el que una sección de la red se encuentra congestionada. Se utiliza para evaluar el nivel de servicio de la red y para identificar puntos de congestión.
- Tiempo de ciclo de semáforos: el tiempo de ciclo de semáforos se refiere al tiempo que tarda un semáforo en completar un ciclo completo de señalización y se utiliza para evaluar la eficacia de la señalización de tráfico.

Estos parámetros se pueden calcular para diferentes secciones de la red, para diferentes tipos de vehículos y en diferentes momentos del día, lo que permite una evaluación detallada del nivel de servicio en la red de transporte.

3 EMPLAZAMIENTO

En el presente capítulo, se expone el área en el que se acometerá el proyecto y que, por tanto, habrá que modelar para la consecución del objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster.

Para desarrollar el modelo, lo primero que se debe hacer es determinar la zona en la que se encuentra y su influencia en términos de tráfico. En este capítulo, se analizarán las características más relevantes del área de estudio, se identificarán las vías que la conforman y se describirán las características del tráfico de la zona. Todo esto se hará para posteriormente utilizar esta información en la creación de modelos de microsimulación.

3.1 Ubicación del área

Comenzando por la ciudad de Sevilla está ubicada en la región autónoma de Andalucía, en el suroeste de España. Está rodeada por las provincias de Córdoba al noreste, Huelva al oeste y Cádiz al sur.

Sevilla es una ciudad española situada en el suroeste de la península ibérica, en la comunidad autónoma de Andalucía. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) de España, en el año 2021 la población de Sevilla era de aproximadamente 696.676 habitantes.

Además, su área metropolitana se compone de 46 municipios con una población total de 1,535,379 habitantes en una superficie de 4,905.04 km². Esto significa que la densidad de población es de alrededor de 313.02 habitantes por km².

La ciudad de Sevilla está dividida en once distritos, cada uno de ellos con su propia identidad y características. A continuación, se describen brevemente cada uno de estos distritos y su población, según datos del INE correspondientes a enero de 2022:

1. Casco Antiguo: Este distrito abarca el centro histórico de la ciudad y cuenta con una población de aproximadamente 55.000 habitantes.
2. Macarena: Este distrito se encuentra al norte del centro histórico y cuenta con una población de aproximadamente 53.000 habitantes.
3. Nervión: Este distrito está ubicado al este del centro histórico y cuenta con una población de aproximadamente 55.000 habitantes.
4. Sur: Este distrito se encuentra al sur del centro histórico y cuenta con una población de aproximadamente 48.000 habitantes.
5. Cerro-Amate: Este distrito se encuentra al este de la ciudad y cuenta con una población de aproximadamente 76.500 habitantes.
6. Los Remedios: Este distrito se encuentra al oeste del centro histórico y cuenta con una población de aproximadamente 45.500 habitantes.
7. Triana: Este distrito se encuentra al oeste del centro histórico, al otro lado del río Guadalquivir, y cuenta con una población de aproximadamente 43.000 habitantes.
8. Este-Alcosa-Torreblanca: Este distrito se encuentra al este de la ciudad y cuenta con una población de aproximadamente 87.000 habitantes.

9. Bellavista-La Palmera: Este distrito se encuentra al suroeste del centro histórico y cuenta con una población de aproximadamente 52.500 habitantes.
10. Norte: Este distrito se encuentra al norte del centro histórico y cuenta con una población de aproximadamente 74.500 habitantes.
11. San Pablo-Santa Justa: Este distrito se encuentra al este de la ciudad y cuenta con una población de aproximadamente 39.000 habitantes.

Parece sensato que para evaluar el impacto que tiene la ampliación del tranvía se analice su recorrido completo, así como la interacción con el tráfico que le rodea, incluido el peatonal.

Por este motivo, la zona que se modelará y posteriormente se simulará para contrastar el impacto que tiene la ampliación del tranvía en la ciudad de Sevilla es todo el recorrido del tranvía que transcurre por vías no peatonales, es decir, desde Prado de San Sebastián hasta su nuevo final de línea, en Luis Montoto.



Figura 29: Zona elegida para modelar y analizar.

El área de estudio se centrará en varios barrios, principalmente el barrio de Nervión y el de San Bernardo.

Comenzando con el barrio de Nervión, se puede decir que es uno de los barrios más importantes y concurridos de la ciudad de Sevilla, situado al este del centro histórico de la ciudad. Se encuentra delimitado al norte por el Santa Justa, al este por el barrio de San Pablo, al sur por el barrio de San Bernardo y al oeste por el Centro

El barrio de Nervión se caracteriza por ser una zona de gran actividad económica y comercial, con numerosos edificios de oficinas, centros comerciales, tiendas, bares y restaurantes. Algunos de los centros comerciales más importantes de la ciudad, como el Centro Comercial Nervión Plaza o el Centro Comercial Los Arcos. Además, la zona cuenta con una amplia oferta de servicios, como hospitales, colegios y centros deportivos.

La accesibilidad del barrio de Nervión es una de sus principales ventajas, ya que cuenta con excelentes conexiones de transporte. El metro es una alternativa muy eficiente para desplazarse a través del barrio y llegar al centro de la ciudad. Además, hay varias líneas de autobuses urbanos que atraviesan la zona y llegan a otros barrios de Sevilla.

El barrio cuenta con una gran variedad de comercios y servicios, incluyendo varios colegios, institutos y una universidad. También se encuentra en el barrio la estación de tren de San Bernardo, que conecta con diferentes zonas de la ciudad y con otras ciudades cercanas.

Adicionalmente, San Bernardo ha experimentado importantes transformaciones urbanísticas en las últimas décadas, que han cambiado la fisonomía del barrio y mejorado su accesibilidad y calidad de vida. Estas transformaciones incluyen la remodelación de la estación de tren de San Bernardo, la construcción de nuevas viviendas y la creación de espacios peatonales y zonas verdes.



45

3.2 Sistema Viario

A continuación, se describirán las principales vías y elementos que son protagonistas en el emplazamiento.

3.2.1 Avenida San Francisco Javier

La avenida de San Francisco Javier transcurre desde la Av. Ramón y Cajal hasta la Av. Eduardo Dato. Es una vía muy transitada en Sevilla, especialmente durante las horas punta del día. Al tratarse de una calle importante que conecta diferentes zonas de la ciudad, el tráfico puede ser intenso en algunas ocasiones.

Durante la mañana y la tarde, es habitual que se produzcan retenciones de tráfico en la avenida de San Francisco Javier, sobre todo en los tramos más cercanos al estadio del Sevilla FC y al complejo empresarial Nervión Plaza. Además, al tratarse de una vía amplia, es frecuente que los conductores circulen a velocidades elevadas.



Figura 31: Vista en Google Maps de la Av. San Francisco Javier.

La avenida de San Francisco Javier cuenta con tres carriles en cada dirección, separados por una mediana con diversos árboles. Además, cuenta con varias paradas de transporte público.

3.2.2 Avenida Eduardo Dato

Vía que transcurre entre Gran Plaza y el centro ciudad (acaba en Menéndez Pelayo) tras su paso por el Puente de los Bomberos.

Dicha avenida tiene tres carriles en sentido centro, en cambio, sentido Gran Plaza (hasta su cruce con Av. San Francisco Javier) solo tiene un carril, exclusivo para transporte público y motocicletas. Desde su paso por Av. San Francisco Javier, se compone de dos carriles.

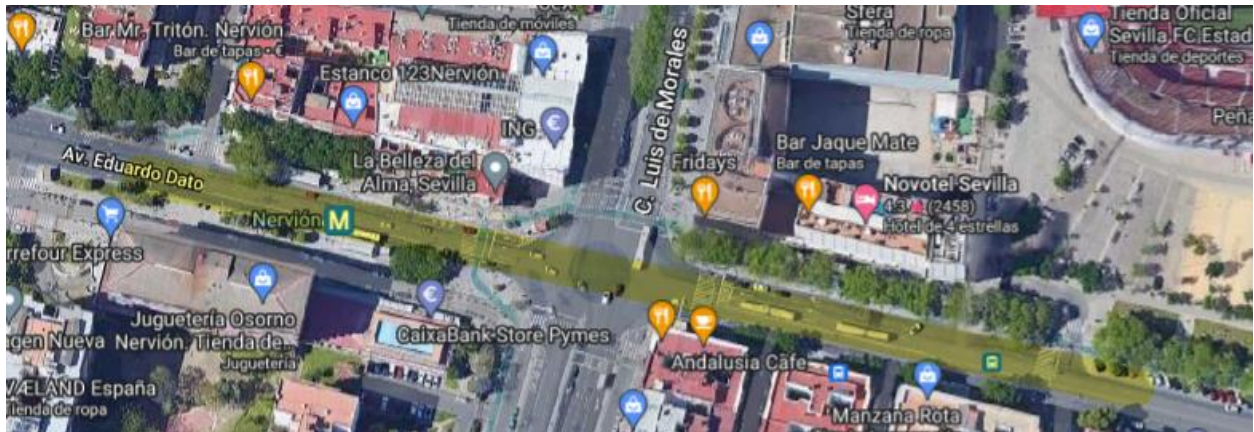


Figura 32: Vista en Google Maps de la Av. Eduardo Dato.

3.2.3 Calle Luis de Morales

Continuación de la Avenida San Francisco Javier desde su cruce con la avenida Eduardo Dato.

Esta calle tiene tres carriles por sentido y varias paradas de transporte público. De igual forma, también tiene una mediana que separa ambos sentidos, con vegetación en su interior.

3.2.4 Avenida Ramón y Cajal

Se extiende entre la Avenida de Ciudad Jardín hasta Enramadilla, la vía más larga del emplazamiento que se desea simular.

Está compuesta por dos carriles por sentido.



Figura 33: Avenida Ramón y Cajal vista desde Google Maps.



Figura 35: Calle Juan de Mata vista por Google Maps.

3.2.7 Avenida de la Borbolla

Como se indica con anterioridad, finaliza en el inicio de la calle Juan de Mata, en sentido sur, se dirige al Parque de María Luisa, recorriéndolo longitudinalmente por su linde.

Esta avenida cuenta con tres carriles por sentido, y también cuenta con un tráfico fluido antes de la ampliación del tranvía.

3.2.8 Avenida Carlos V

Conecta la rotonda Don Juan de Austria con la rotonda de la Calle Juan de Mata.

Esta Avenida es de uso exclusivo de autobuses y motocicletas, ya que está repleta de paradas de transporte público, lo que supondría un problema para la seguridad vial y congestión.

Cuenta con dos carriles por sentido.

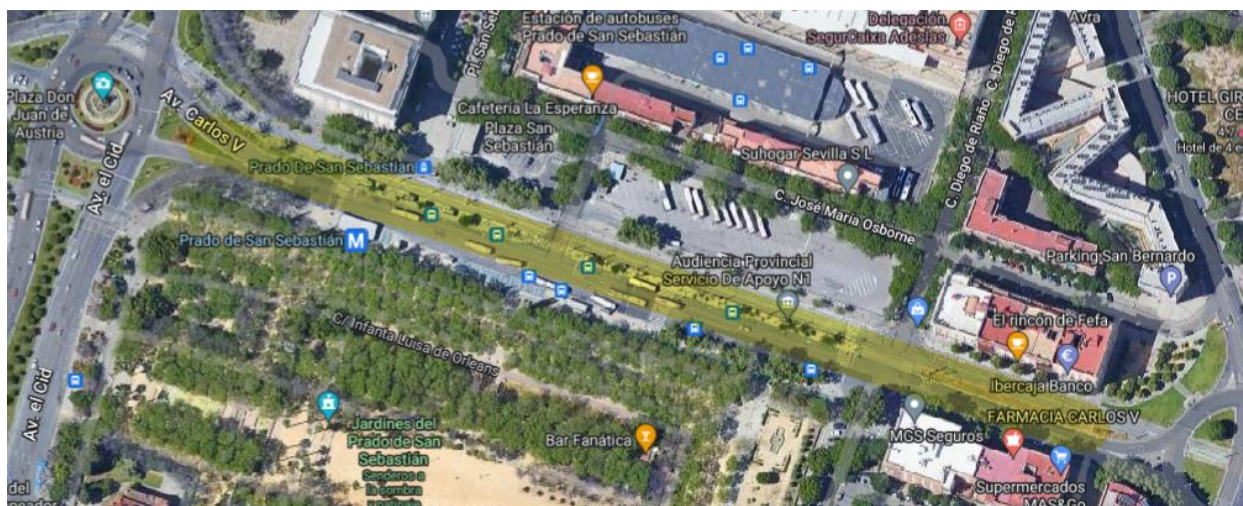


Figura 36: Vista en Google Maps de la Avenida Carlos V.

3.2.9 Ronda Histórica

Larga avenida con varios nombres a lo largo de su recorrido: Recaredo, Ronda de Capuchinos, Av. El Cid o Menéndez Pelayo, entre otros. El tramo que tiene relevancia en el presente proyecto es Menéndez Pelayo y Av. El Cid, es por ello que se podrá hacer referencia en el documento con cualquiera de estos nombres.

A su paso por el área de importancia para el presente trabajo cuenta con cuatro carriles en sentido sur y tres en sentido norte.

La intensidad del tráfico es elevada, pero es salvada con el gran número de carriles que presenta.

Es atravesada por el tranvía, lo que suma un elemento más a tener en cuenta en la interacciones viales. El tren es salvado con un Sistema semafórico que funciona con detectores, de forma que cuando el vehículo se acerca, el tráfico rodado es parado por seguridad con estos semáforos, y hasta que no desaparece, no se reanuda con normalidad.

3.2.10 Plaza Don Juan de Austria

Hace de cruce entre la avenida Menéndez Pelayo, el tranvía a su salida del centro (o entrada, según como se mire) y la avenida Carlos V. El tráfico es alto, pero la congestión no es alta debido a sus tres carriles y sobre todo a su geometría (la gran mayoría de los vehículos siguen rectos y no hacen giros en ella)



Figura 37: Plaza Don Juan de Austria vista con Google Maps.

3.2.11 Cruce entre Juan de Mata y Enramadilla

El cruce es salvado con una rotonda atravesada por la avenida Juan de Mata y por las vías del tranvía.

La rotonda exterior tiene dos carriles, además de semáforos para coordinar el cruce entre las mismas avenidas y entre el tráfico rodado y el tranvía.

Una vez adentrados en la avenida Carlos V desde esta intersección, el tráfico será solo de autobuses.



Figura 38: Juan de Mata con Enramadilla vista con Google Maps.

3.3 Generación y atracción de viajes

El Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Sevilla recoge la siguiente tabla (Figura 39) donde se refleja la cantidad de viajes diarios generados y atraídos por el distrito de Nervión. El barrio se encuentra en una posición intermedia en cuanto a viajes generados con una cantidad cercana a los 100.000, lo supone un 8.5 % del total de viajes generados al día, como resultado de que la población del distrito no es de las más altas de la ciudad.

Sin embargo, en viajes diarios atraídos es la segunda que más volumen atrae (empatada con “Exterior”), 142.000 viajes diarios, con un peso de un 12.5 % sobre el total. Esto se debe a la intensa actividad que tiene lugar en este barrio.

Así

MACROZONA	DENOMINACIÓN	GENERADOS		ATRAIDOS		RATIO G/A
		VIAJES	%	VIAJES	%	
1	Casco Antiguo	99.609	8,7%	215.222	18,9%	0,46
2	Macarena	118.351	10,4%	62.494	5,5%	1,89
3	Nervión	96.874	8,5%	142.493	12,5%	0,68
4	Cerro - Amate	130.099	11,4%	58.429	5,1%	2,23
5	Sur	111.768	9,8%	99.665	8,7%	1,12
6	Triana	77.674	6,8%	41.759	3,7%	1,86
7	Norte	117.747	10,3%	66.903	5,9%	1,76
8	San Pablo - Santa Justa	99.717	8,7%	77.818	6,8%	1,28
9	Este - Alcosa - Torreblanca	166.991	14,6%	90.279	7,9%	1,85
10	Palmera - Bellavista	72.492	6,4%	73.413	6,4%	0,99
11	Los Remedios	43.298	3,8%	40.995	3,6%	1,06
12	PCT Cartuja	363	0,0%	27.887	2,4%	0,01
99	Exterior	4.979	0,4%	142.608	12,5%	0,03
Total general		1.139.964	100,0%	1.139.964	100,0%	

Figura 39: Matriz de atracción y generación de viajes por macrozonas,(Sevilla, n.d.)

3.4 Actividad

Los barrios de Nervión y San Bernardo son zonas muy activas económicamente, con una amplia variedad de actividades empresariales y comerciales. A continuación, se detallan algunas de las principales actividades económicas que se desarrollan:

- Comercio: cuentan con una amplia oferta comercial, que abarca desde pequeños comercios hasta grandes superficies. En la avenida Eduardo Dato, en la calle Luis de Morales y en la avenida Ramón y Cajal se encuentran algunos de los centros comerciales más importantes de la ciudad, como Nervión Plaza, Viapol Center y El Corte Inglés.
- Hostelería: existen numerosos bares, cafeterías y restaurantes, que ofrecen una amplia variedad de opciones gastronómicas.
- Servicios: cuentan con una amplia oferta de servicios, que incluye desde clínicas y centros médicos hasta peluquerías y gimnasios. También hay numerosos despachos profesionales, empresas de servicios y agencias de viajes.

- Centros educativos: se encuentran algunos de los colegios e institutos más importantes de Sevilla, así como varias facultades universitarias y centros de formación.
- Eventos deportivos: en Nervión se encuentra el estadio del Sevilla FC.
- Administrativos: se emplazan en estos barrios casi la totalidad de los juzgados (penal, civil, administrativo, Violencia sobre la mujer, Audiencia Provincial de Sevilla...)

En resumen, son barrios donde la actividad en prácticamente todos los ámbitos de la sociedad es muy intensa, ello se ve reflejado en las siguientes tablas, que representan la cantidad de viajes atraídos/generados por macrozona según el motivo del viaje con una escala de color por columnas, donde el color rojo más intenso representa el máximo de cada columna y el blanco el mínimo de la misma.

Así, se observa, que el barrio de Nervión está resaltado en casi todas las columnas con un rojo más o menos intenso, pero en ninguna de ellas baja del rojo medio, esto refleja que la vida y actividad en el barrio son muy variadas.

	Trabajo		Gestiones del trabajo		Estudios		Médico		Compra diaria	
	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos
Casco Antiguo	34923	59486	2978	4128	8931	17256	3400	6449	4461	8013
Macarena	34040	14085	1253	431	8479	4694	7690	8460	9487	6908
Nervión	31714	34846	1800	3227	7588	15856	4787	8703	4767	7516
Cerro - Amate	37377	15432	1043	785	14066	3044	9235	2706	6897	5243
Sur	32637	30108	2025	428	9877	13232	5717	11703	7648	6981
Triana	23653	8902	1518	1500	6254	3105	3808	2526	4596	3895
Norte	33871	17673	1761	1831	9956	3512	9227	2442	6790	6469
San Pablo - Santa Justa	28864	24638	2388	925	7318	3570	5426	4297	6083	6403
Este - Alcosa - Torreblanca	59951	24723	2241	870	15873	4574	8006	3556	11502	10877
Palmera - Bellavista	23901	23361	905	2253	6160	10220	3939	7452	2837	2338
Los Remedios	12231	16297	1240	968	4661	2364	3683	2926	1809	1649
PCT Cartuja	189	14953	0	95	88	6711	0	1013	0	0
Exterior	1998	70843	729	2439	246	11361	75	2762	0	584

	Compra no diaria		Asuntos personales		Ocio		Llevar/recoger		Visitas familiares o	
	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos	Generados	Atraídos
Casco Antiguo	4938	16896	10929	21033	21206	67342	2910	8014	4933	6605
Macarena	7105	2438	8988	5523	27059	10794	7557	4309	6692	4853
Nervión	6628	10409	7065	14035	22825	33988	4785	8480	4915	5431
Cerro - Amate	9096	4633	10922	5196	27057	13476	7871	4806	6535	3108
Sur	7852	5713	10001	6653	25001	17228	6730	3263	4277	4356
Triana	3259	1181	8386	5729	18551	11344	2561	1320	5087	2255
Norte	8896	6450	10311	6590	22254	13348	7081	4700	7600	3887
San Pablo - Santa Justa	7407	8574	8746	7057	23438	13948	4010	4564	6038	3841
Este - Alcosa - Torreblanca	9799	6607	13289	5183	27083	18283	11587	10277	7659	5329
Palmera - Bellavista	4970	1790	6812	4812	13442	11349	6546	6853	2980	2984
Los Remedios	1540	1601	6141	4680	9364	7573	571	1280	2058	1657
PCT Cartuja	0	0	0	918	86	3821	0	375	0	0
Exterior	600	5798	386	14569	212	15085	319	4286	415	14882

Tabla 1: Viajes generados/atraídos por motivo de viaje.

Concretamente, el PMUS enumera los lugares que más viajes diarios atraen al barrio de nervión. Destacan los centros sanitarios, docentes, administrativos y comerciales.

Por los tipos de actividad, se puede tener una idea de las horas en el que el tránsito vial es mayor: tráfico distribuido uniformemente durante toda la jornada laboral, con picos a la hora de fin de jornada de los trabajadores públicos (alrededor de las 14:00-15:00), coincidiendo con la hora del almuerzo y fin de la jornada de los trabajadores públicos (alrededor de las 18:00).

Equipamiento	Zona	Centros
Sanitario	32	Hospital San Juan de Dios de Sevilla
Sanitario	28	Clínica Santa Isabel
Docente	29	Facultades de Económicas y Empresariales, Filosofía, Psicología, Turismo y Finanzas
Docente	33	Centro Internacional de Postgrado
Deportivo	36	Estadio "Ramón Sánchez Pizjuán"
Administrativo	29	Juzgado de Primera Instancia
Administrativo	29	Juzgado de Violencia sobre la Mujer
Administrativo	29	Tribunal Superior de Justicia
Administrativo	34	Delegación Territorial de Educación de Sevilla
Comercial	29	Centro Comercial Ramón y Cajal
Comercial	35	El Corte Inglés Nervión (C/ Luis Montoto)
Comercial	36	Centro Comercial Nervión Plaza

Tabla 2: Lugares que atraen mayor cantidad de tráfico al barrio de Nervión (Sevilla, n.d.).

3.5 Transporte público

El barrio de Nervión y San Bernardo cuenta con varias opciones de transporte público que facilitan el acceso a esta zona de Sevilla. A continuación, algunas de las opciones más importantes:

- **Metro:** la línea 1 del metro de Sevilla cuenta con varias paradas en Nervión y San Bernardo, como Gran Plaza, Nervión, San Bernardo y Prado. El metro es una opción rápida y cómoda para desplazarse por la zona.
- **Autobuses urbanos:** existen varias líneas de autobuses urbanos que conectan con otras zonas de la ciudad, como la línea 22, 24, 27, 29, 32, C1 y C2. Estos autobuses son una opción económica y práctica para moverse por la zona.
- **Tren cercanías:** en San Bernardo, junto a la estación de metro, hay una estación de cercanías que conecta esta zona de la ciudad con pueblos cercanos y otros barrios.
- **Bicicletas públicas:** Sevilla cuenta con un servicio de bicicletas públicas, el Sevici, que cuenta con varias estaciones en Nervión. Es una opción saludable y ecológica para desplazarse por la zona.

4 MODELADO

4.1 Introducción

En el presente capítulo se describe el proceso de modelado del modelo presentado anteriormente, para lo cual, se ha llevado a cabo un proceso iterativo de modelado de los escenarios de simulación, que se ha basado en un sistema de prueba y error. El objetivo ha sido conseguir un escenario base que represente el comportamiento del tráfico en la realidad y que proporcione resultados similares a los que se tenían antes del inicio de las obras de ampliación del Metrocentro y, a partir de este, crear dos escenarios más: el escenario que se da a la finalización de dichas obras y el hipotético escenario que se habría dado si en lugar del túnel, el tranvía transcurriera por la superficie en el cruce de Ramón y Cajal con San Francisco Javier.

A medida que se ha avanzado en el modelo, se han ido detectando errores en el mismo y comportamientos de los vehículos que no se corresponden con la realidad. Por lo tanto, se han realizado multitud de simulaciones para detectar estos problemas y corregirlos, lo que ha permitido realizar un calibrado del modelo.

Entre los cambios realizados durante el proceso de modelado, se han incluido modificaciones en la geometría, el uso de elementos como los conectores de PTV Vissim para conseguir ciertos comportamientos o cambios en la configuración de los parámetros del modelo.

El modo de trabajo en PTV Vissim será el Scenario Management, este modo permite, como se explica en el capítulo 2, poder gestionar proyectos con variaciones de una manera más sencilla, todo en un mismo archive, incluso simulando al mismo tiempo.

4.2 Escenario 1: Escenario inicial

El primer escenario que se desea realizar para poder comparar es el escenario que existente antes del comienzo de las obras del Metrocentro.

Este escenario, además, se convertirá en el escenario base para los dos siguientes modelos.

El área elegida para simular tiene una gran extensión, además de prácticamente todos los agentes viales presentes, lo que lo convierte en un modelo realmente complejo.

4.2.1 Presentación del modelo

Una vez introducido el modelo, se presenta para, posteriormente, describir las particularidades y la construcción del mismo. El modelo en cuestión es el siguiente:

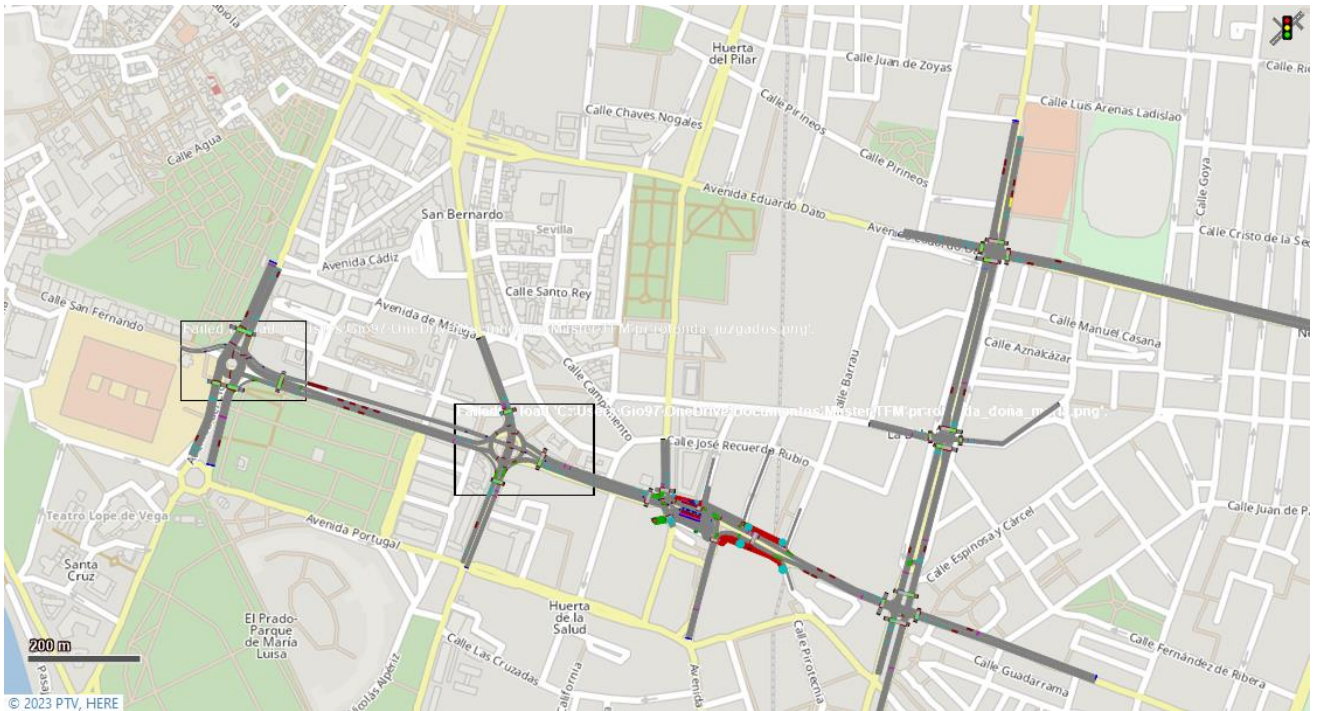


Figura 40: Vista completa del escenario inicial.

Este escenario inicial cuenta con un total de 163 links, entre los que se encuentran modelados: calles, avenidas, pasos peatonales, las mismas vías del tranvía...

Han quedado exentos para los modelos los carriles bici, ya que en la totalidad del modelo cruzan las vías en los mismos puntos y a la vez que el tráfico peatonal, usando los pasos peatonales de forma conjunta.

Las rotondas que se pueden ver son modeladas como links circulares y otra de las particularidades del modelo es la longitud de los links que entran en el modelo, que se crean con el condicionante de que no queden entradas congestionadas, para que no contaminen los resultados.

4.2.2 Composición vehicular

En el modelo conviven 56 entradas de vehículos (vehicle Inputs), formadas por unas composiciones vehiculares (vehicle composition) que incluyen todos los tipos de vehículos (aunque no los autobuses de las líneas de transporte público regulares, tratadas en el apartado 4.2.7 Transporte público) que coexisten en el modelo: peatones, tranvía (se ampliará información en el apartado 4.2.8 Tranvía), coches, camiones, motocicletas y bicicletas.

Se crean varias composiciones vehiculares, para adaptarlas a las condiciones de la vía:

- “Av. Estándar”: para simular el tráfico en las calles y avenidas del modelo, los porcentajes de vehículos y tipología viene dado por observación en las vías de Sevilla y por simplicidad se lleva a la aproximación de usarlo en todos los Vehicle Inputs del modelo en el que circula tráfico rodado. Está compuesto por:
 - Coches: variedad de modelos de automóviles de diferentes marcas y colores, conforman un 80% de la composición vehicular, con una Distribución de Velocidad deseada de media 60 km/h.
 - Motos: en realidad son simulados como bicicletas, pero a una velocidad de 50 km/h, se corresponden con un 15% del modelo.

- Camiones: con una velocidad deseada de 40 km/h, completan con el 5%.

Count: 3	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: car	60: 60 km/h	0,800
2	200: HGV	40: 40 km/h	0,050
3	610: Bike Man	50: 50 km/h	0,150

Figura 41: composición vehicular "" Av. Estándar".

- “Peatones”: utilizada en todos los pasos peatonales del modelo, también resultado de observación en campo, está formada al 80% por peatones al uso, mitad género masculino y mitad género femenino y al 20% por bicicletas, con una velocidad deseada de 15 km/h.

Count: 4	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	510: Man	5: 5 km/h	0,400
2	520: Woman	5: 5 km/h	0,400
3	610: Bike Man	15: 15 km/h	0,100
4	620: Bike Woman	15: 15 km/h	0,100

Figura 42: Composición vehicular "peatones".

4.2.3 Intensidades de tráfico

La zona de la ciudad en la que se produce la ampliación del Metrocentro tiene un gran volumen de tráfico rodado. Para el modelo que se pretende realizar es necesario conocer el número de vehículos que pasan por cada vía por cada hora, este parámetro se denomina intensidad de tráfico, y se mide en vehículos / hora.

Estos datos son facilitados por el Portal de Tráfico, perteneciente al ayuntamiento de Sevilla, el cual, con medidores, recoge el conteo de vehículos que pasan por una determinada vía.

Debido al poco mantenimiento de estos medidores, en la actualidad, las tablas de datos que facilita esta organización está prácticamente vacía, por lo que se decide coger datos de años anteriores, siempre cotejándolos con la realidad.

Así, los datos que aporta al modelo el Portal de Tráfico, son los recogidos en la Tabla 3: Intensidades de tráfico en Sevilla según el Centro de Control de Tráfico del Ayuntamiento de Sevilla.

No	Link	Veh/h
3	RAMÓN Y CAJAL ENTRADA	789
15	S.FCO.JAVIER- SUR-NORTE	1434
16	S.FCO.JAVIER- NORTE-SUR	1164
29	BORBOLLA - SUR-NORTE	974
30	BORBOLLA - NORTE-SUR	790

31	EDUARDO DATO ENTRADA	671
32	EDUARDO DATO SALIDA	603
48	BUHAIRA - NORTE-SUR	616
49	BUHAIRA - SUR-NORTE	585
89	MENENDEZ PELAYO - SUR-NORTE	1639
90	MENENDEZ PELAYO - NORTE-SUR	1386

Tabla 3: Intensidades de tráfico en Sevilla según el Centro de Control de Tráfico del Ayuntamiento de Sevilla.

4.2.4 Medidas de campo

Para dotar de realismo el presente proyecto, se realizan una serie de mediciones en las calles del modelo, así de este modo, se toman los siguientes datos:

- Los conteos de vehículos arrojan que 1455 pasan por la vía Avenida Menéndez Pelayo en dirección sur en hora punta, concretamente a las 18:00 de un día laborable,
- En la calle Juan de Mata, las mediciones de vehículos hacen un total de 690 en una hora en el mismo horario,
- Ciclo semafórico de Sevilla es de 110 segundos,
- Ciclo semafórico de la rotonda Don Juan de Austria,
- Se verifica el mix de tráfico (Vehicle composition) mencionado en apartados anteriores,



Figura 43: Foto durante las tomas de datos en Menéndez Pelayo.

No es posible realizar más mediciones porque el presente Proyecto se inicia una vez comenzados las obras de ampliación del Metrocentro con sus correspondientes cortes de tráfico, lo que hace que el tráfico que circularía por las vías cortadas se mueva por colindantes, lo que incurriría en una contaminación de los datos.

4.2.5 Rutas vehiculares

El modelo está compuesto por 37 rutas vehiculares, esto es, 37 decisiones que toman los vehículos del modelo para modificar su ruta.

Por ejemplo, en el ejemplo de la Figura 44 los vehículos que circulan por la Avenida San Francisco Javier tienen tres opciones al llegar al cruce con Camilo José Cela.



Figura 44: Ruta vehicular en San Francisco Javier en su cruce con Camilo José Cela.

El 65% de los vehículos continuará recto utilizando los tres carriles de San Francisco Javier, el 20 % girará a la izquierda hacia Santa Joaquina de Vedruna utilizando el cuarto carril que nace para dicho giro, y que cuenta con un semáforo independiente, mientras que el 15% restante de los vehículos girará a la derecha hacia Camilo José Cela, utilizando el carril de la derecha.

Count: 3	tDec	No	Name	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1		1			63: Santa Joaqui...	23,819	0,200
2		2			38: SJ sur	358,893	0,650
3		3			65: Camilo José...	28,547	0,150

Figura 45: Rutas vehiculares en la intersección de San Francisco Javier con Camilo José Cela.

Como comparativa, se muestra en la Figura 46 el cruce en cuestión.



Figura 46: Intersección de San Francisco Javier con Camilo José Cela antes del inicio de las obras.

Las rutas vehiculares son determinadas según los giros que están permitidos en la realidad, a esto se llega con observación en campo y usando Google Maps en las vías que se encuentran en obras durante la ejecución de este Trabajo de Fin de Máster, en concreto con Street View.

A modo de ejemplo, en Figura 47 puede verse como no está permitido el giro a la izquierda, salvo para el transporte público y motocicletas.

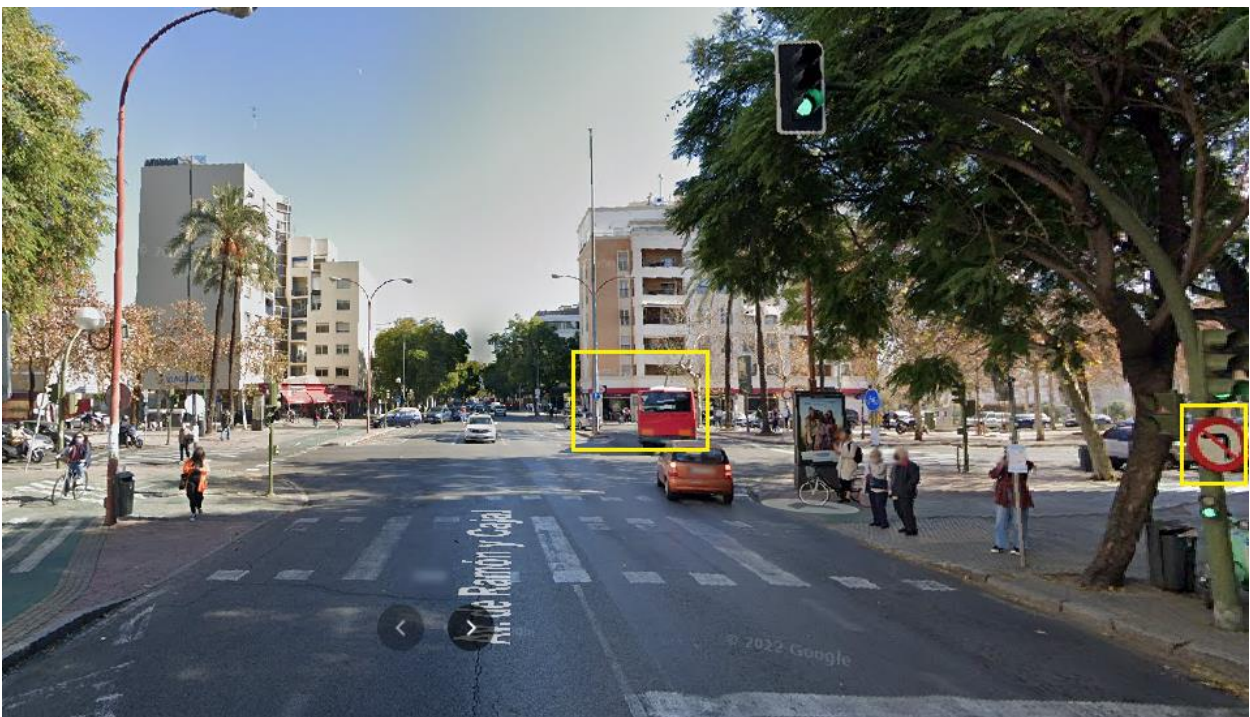


Figura 47: Captura de Google Street View de Avenida Ramón y Cajal.

Esto genera una serie de restricciones en el modelo que son salvadas con las rutas vehiculares, que permiten discernir entre tipos de vehículos.

Se observa que el ciclo semafórico elegido es el usado en la ciudad de Sevilla, 110 s, la secuencia de señal es también la usada en la actualidad: rojo, verde y ambar, con un tiempo de ambar de 3 s y una duración entre verde y rojo variable.

En el presente ejemplo, se cuenta con 10 semáforos interconectados entre ellos, como se expone en capítulos anteriores, los vehículos que circulen por San Francisco Javier en este cruce se pueden realizar tres rutas diferentes, así como los vehículos que circulen en sentido norte en esta misma vía, por ello, se cuenta con estas señales:

- Los ciclos de 1, 4, 8 y 10 van acompasados, esto es, mientras en la avenida principal circulan los vehículos en sentido recto y giro a la derecha (no izquierda), los peatones de Camilo José Cela y Santa Joaquina de Vedruna pueden cruzar también, siempre que los vehículos que giren a la derecha en la avenida respeten la preferencia peatonal de estos pasos de cebra, marcados como Conflict Area,
- Los ciclos de 2 y 5 también funcionan en sintonía, estos son los giros a la izquierda de la avenida, tanto en sentido norte como en sur, mientras este giro se produce, el resto del cruce debe estar parado por seguridad,
- Por último, 3, 6, 7 y 9 son gemelos, esto es los cruces peatonales de la avenida, y los semáforos de Camilo José Cela y Santa Joaquina de Vedruna, que en las incorporaciones de estas a la avenida en cualquier sentido tienen que respetar la prioridad peatonal con la que coinciden,

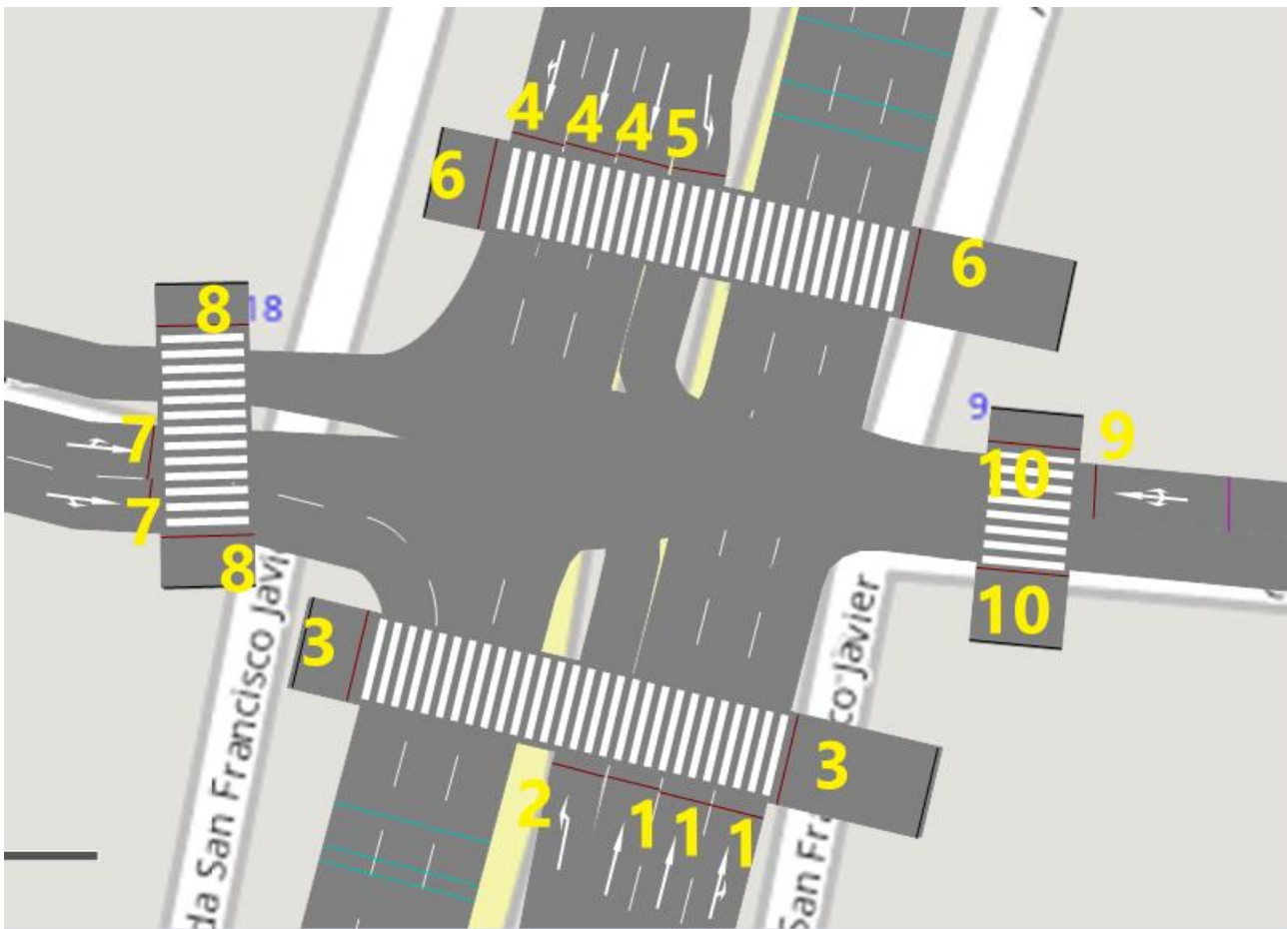


Figura 50: Señales semafóricas numeradas in situ en cruce de San Francisco Javier con Camilo José Cela en el escenario inicial.

4.2.7 Transporte público

El transporte público que se modela en el presente escenario es el tranvía y la red de autobuses. El tranvía se explicará detenidamente en el siguiente apartado, por tanto en el presente se describe la red de autobuses que se dispone en el escenario inicial.

Para crear líneas de transporte público, en primer lugar, se crean Public Transport Stops y a continuación, se introduce la Public Transport Line, haciéndola pasar por las paradas que se quiera.

Se usan, dependiendo de la línea, autobuses dobles y simples, para fidelizar lo máximo posible a la realidad el modelo.

La zona que se desea modelar es de las más transitadas por el transporte público en Sevilla y cuenta con dos de los núcleos con más paradas: el apeadero de San Bernardo y La avenida Carlos V en Prado de San Sebastián.

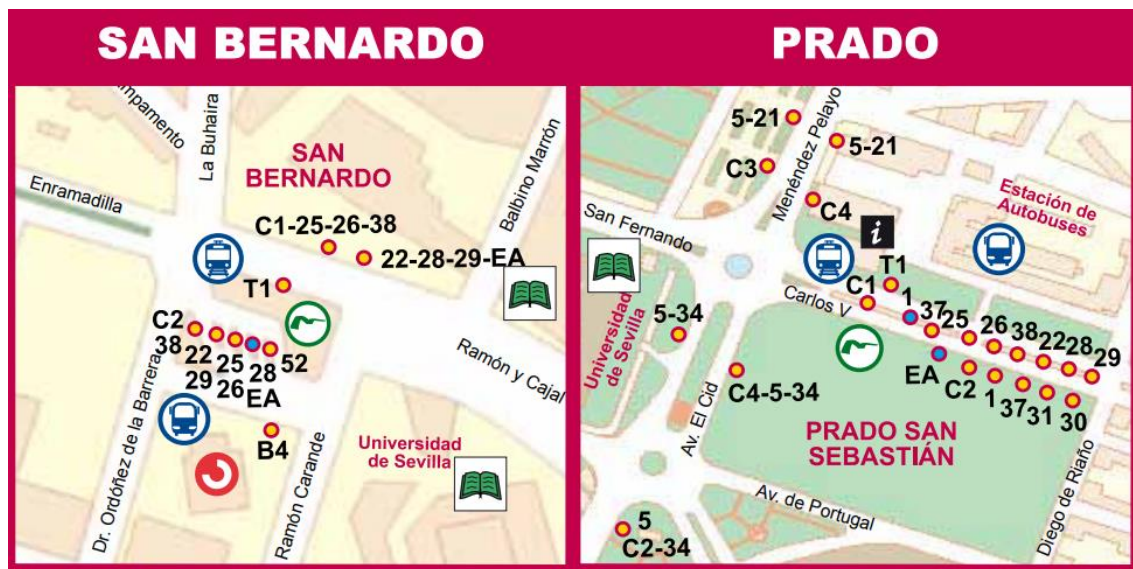


Figura 51: Paradas y línea de autobuses en Prado y San Bernardo.

En el escenario 1 se han creado todas las líneas de autobuses Tussam (empresa pública que opera los autobuses en Sevilla) que existían antes del comienzo de las obras del Metrocentro que puedan tener relevancia en el modelo. En total, se crean las siguientes líneas en ambos sentidos:

- C3
- 01
- C1
- C2
- 05
- 32
- 25
- 26
- 38
- EA

La posición de las paradas es obtenida por la web de Tussam. Como ejemplo, se mostrará una línea en el modelo, en concreto la línea C1, una línea circular, de las más concurridas de la ciudad, que cuenta con autobuses dobles.

4.2.8 Tranvía

El tranvía es el protagonista de este proyecto, por lo que se ha intentado introducir en el modelo de la forma más fiel a la realidad.

Sin ir más lejos, el software tiene un vehículo definido como tranvía, que casualmente es muy similar al que transcurre por las calles de Sevilla.

El mismo, tiene tres módulos, una longitud de 37.65 m, una anchura de 2.69 m y cuenta con 4 puertas, tal y como se puede ver en la siguiente imagen.

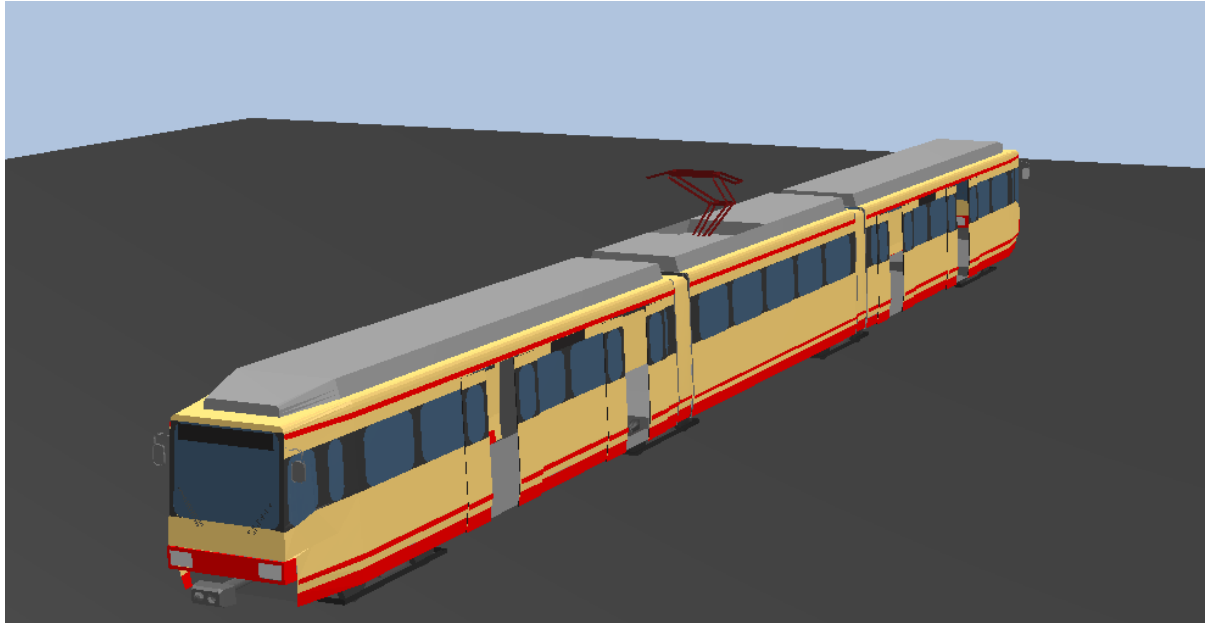


Figura 54: Modelo 3D del tranvía utilizado en el modelo.

El tranvía del modelo es prácticamente igual, pero difiere en las puertas, el del modelo tiene puertas en lado izquierdo y derecho del tren, mientras que el de Sevilla solo tiene accesos por la izquierda, ya que se aprovechan las paradas para ambos sentidos (ambos trenes pueden parar y que la gente use las puertas al mismo tiempo). Por ello, se modifica el modelo, anulando las puertas de la derecha.

La vía por la que transcurre el tranvía es modelada como tipo “urban” continua, desde su inicio en Prado hasta su final en San Bernardo, es decir, un único Link por sentido.

La velocidad del tranvía se define según su velocidad comercial 20 km/h (velocidad comercial de 21 km/h).

Otro aspecto importante es la cadencia de paso, que se toma 8 minutos, aunque en la realidad oscila entre 7 y 9 minutos. Esto, hará que durante la hora de simulación del modelo, pasen un total de 9 trenes.

La ocupación elegida en cada entrada del modelo en sentido San Bernardo es de 70 personas, este parámetro es importante para el tiempo de bajada de los pasajeros y por ende, el tiempo de parada en cada estación.

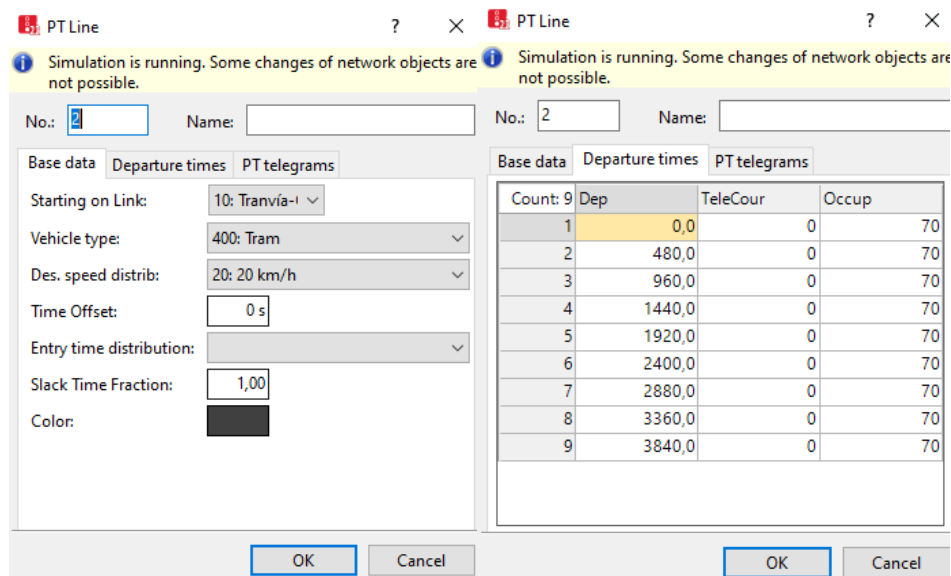


Figura 55: Configuración y cadencia del tranvía en el modelo.

La interacción con el medio se produce mediante detectores de paso. Por cada cruce se tienen dos detectores, uno de entrada y otro de salida, que detectan la posición del tranvía, así, cuando se ha superado el de entrada pero no el de salida, el tranvía se encuentra dentro de la intersección.

Estos detectores controlan semáforos, para que, de esta forma se pueda asegurar la interacción vial entre el tráfico ferroviario y el tráfico rodado. Cuando el tranvía esté dentro de la intersección, los semáforos pararán el tráfico y, cuando el tranvía haya salido (pase por el detector de salida), se reanudará el tráfico.

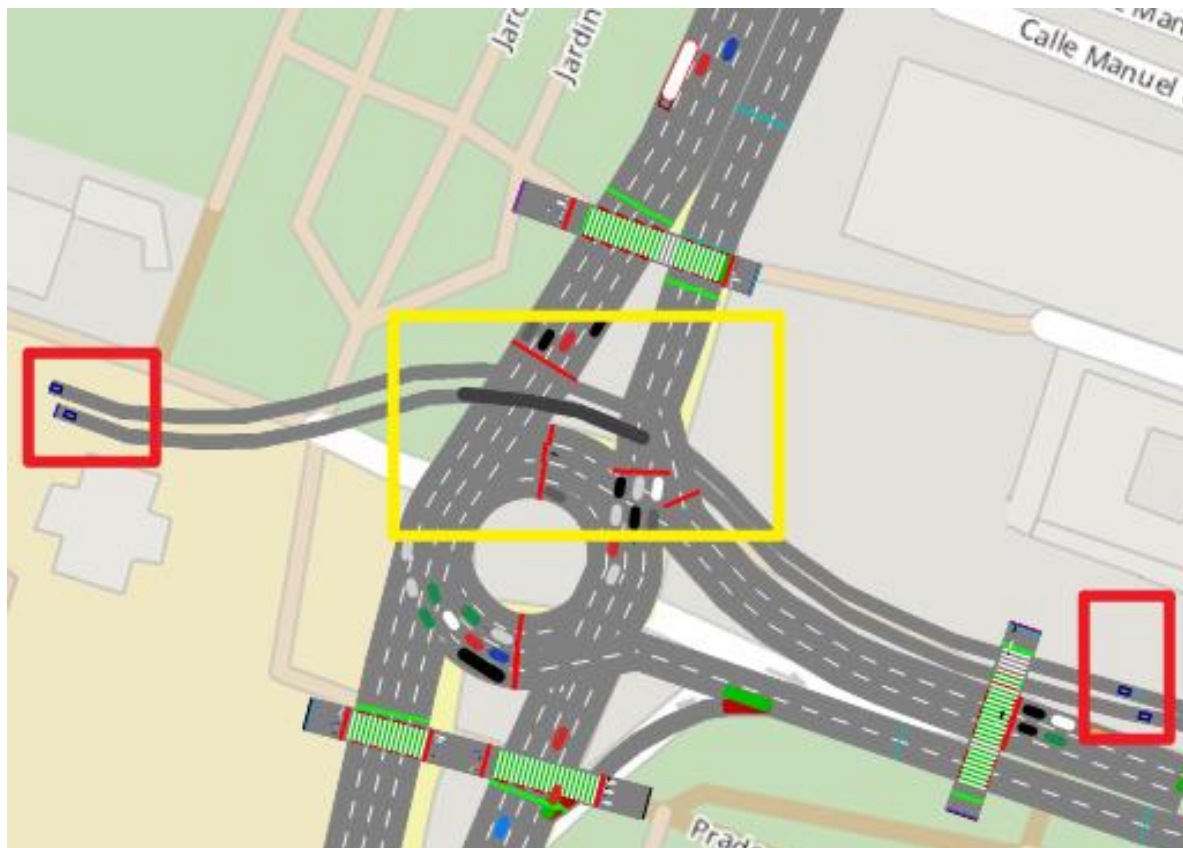


Figura 56: Rotonda Don Juan de Austria modelada.

4.2.9 Modelado Peatonal

Para dotar de realismo al modelo se añade una zona peatonal.

PTV Vissim cuenta con la opción de introducir peatones de una forma muy similar a la introducción de vehículos.

En primer lugar, hay que crear Áreas por las que se puedan mover libremente los peatones, equivalente a los Links por donde transcurren los vehículos. Seguidamente, se crean Pedestrian Inputs (Vehicle Inputs en tráfico rodado) y por ultimo, se crean las Rutas peatonales (Pedestrian Routes, equivalente a Vehicle Routes).

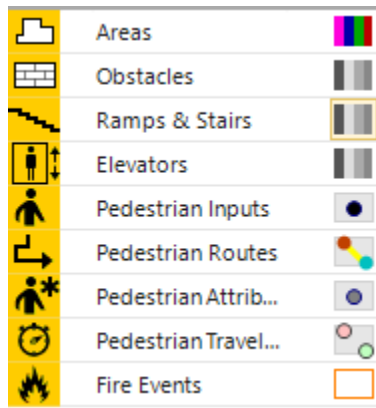


Figura 57: Módulo de PTV Vissim para el modelado de peatones.

Con esta zona se modela la zona del apeadero de San Bernardo y todos los alrededores, centros comerciales, Universidad, paradas de autobús, parada de tranvía, parada de metro...

A continuación, en la Figura 58 se observa la zona peatonal creada para simular el tránsito peatonal.

Se insertan un total de 6 zonas convencionales, además de Waitings Areas y Platform Area para las paradas de bus (áreas para que los peatones puedan subir y bajar de los TP).

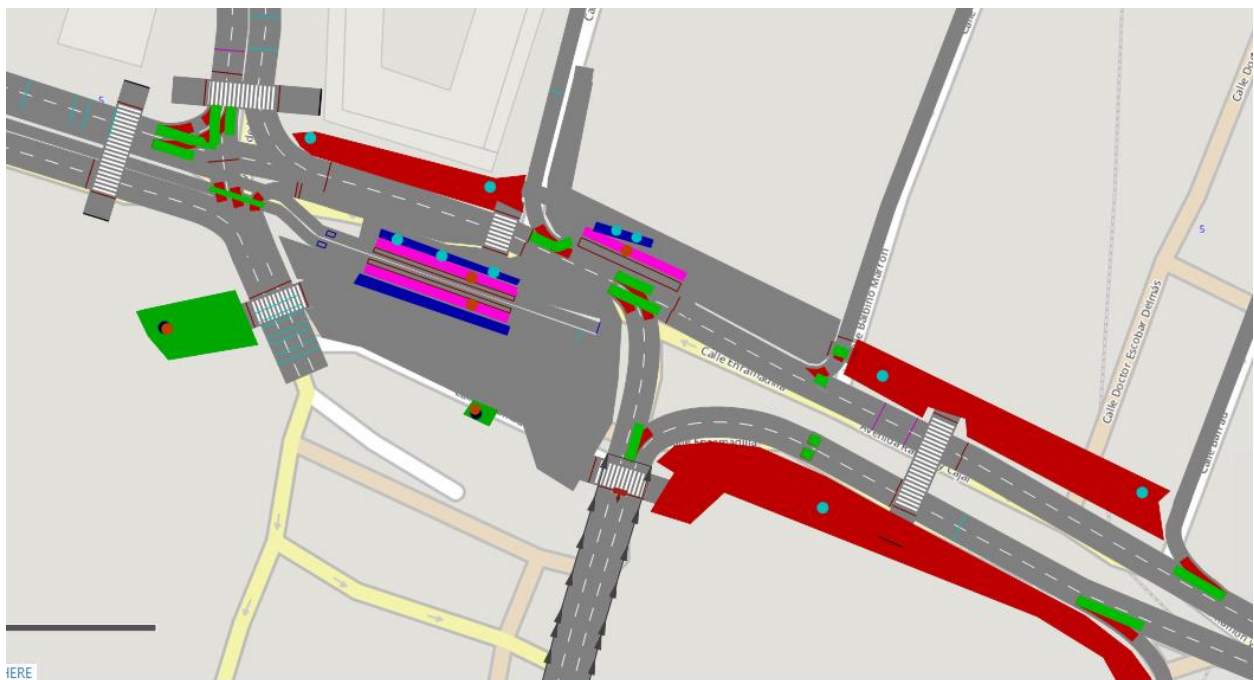


Figura 58: Zona peatonal en San Bernardo.

En las Figura 59 y Figura 60 se muestra la simulación 3D del modelo, con la parte peatonal como protagonista,

donde aparece el tranvía y la parada del C1 respectivamente. Los peatones siguen varias rutas, como por ejemplo, tras bajarse del tranvía van hacia el centro commercial Viapol Center, o se dirigen hacia la parada del C1, entre otras rutas.

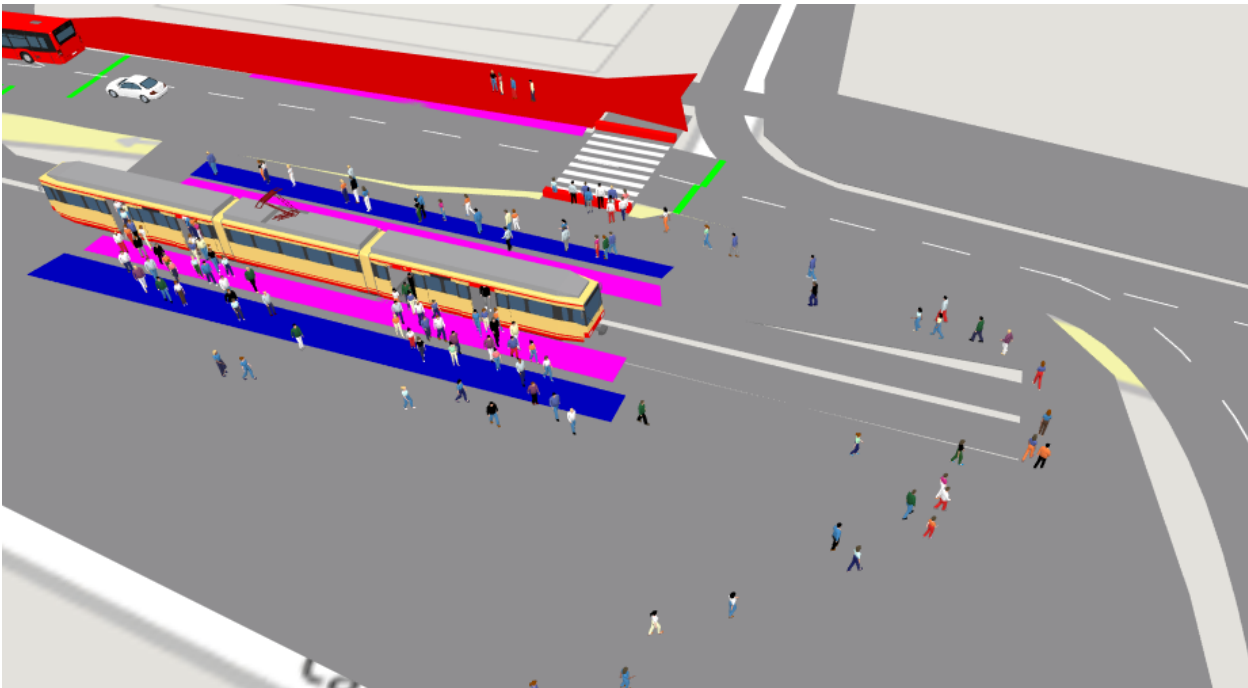


Figura 59: Tranvía en sentido San Bernardo, en esta parada, con los peatones bajando del mismo.

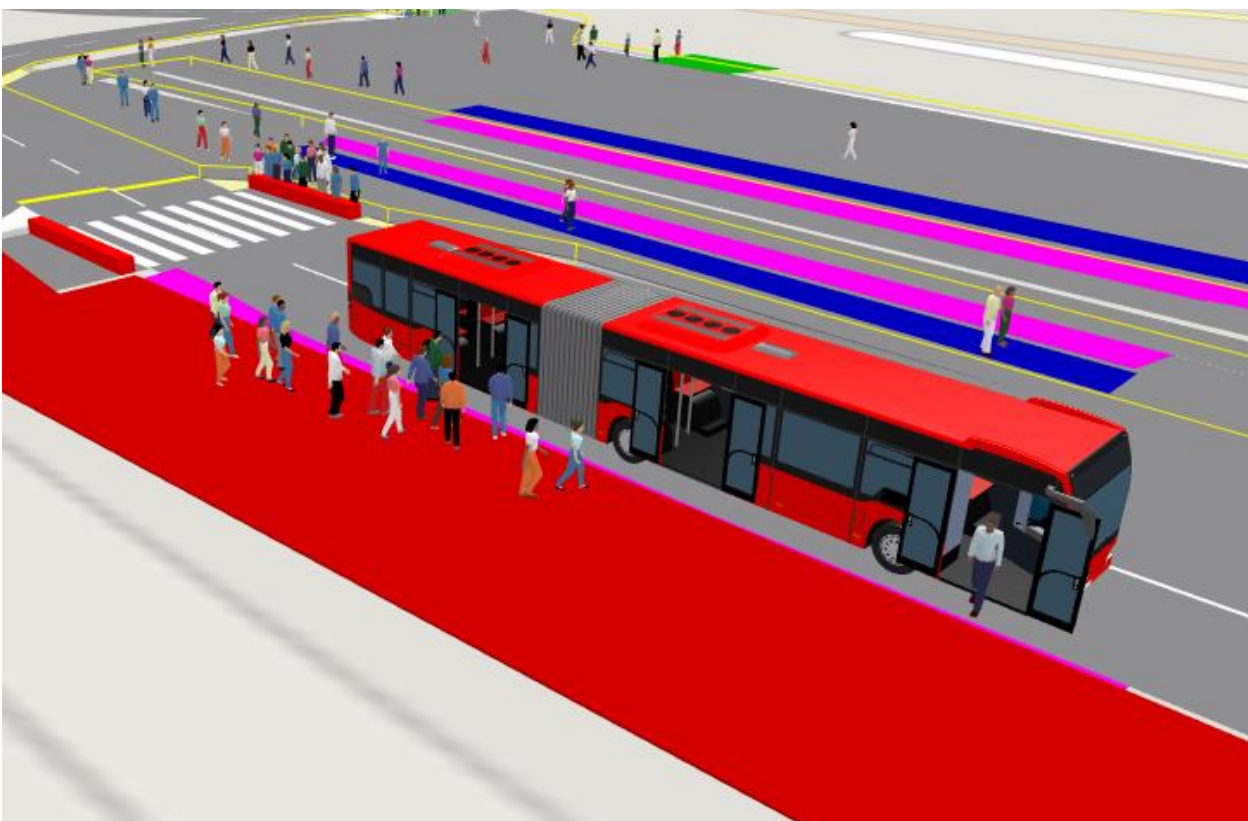


Figura 60: Peatones subiendo y bajando de la parada del C1 de San Bernardo.

4.2.10 Adaptación del modelo:

El presente modelo precisa un amplio trabajo de ajuste del modelo, numerosas iteraciones para llegar al resultado en el que la simulación es lo más parecida a la realidad posible. Algunas de las modificaciones más reseñables son las siguientes:

- **El nivel de agresividad** del usuario en el software se determina utilizando el modelo de seguimiento Wiedemann 74. Este modelo es especialmente apropiado para el tráfico en áreas urbanas y en intersecciones. Su función principal es calcular la distancia (d) entre el vehículo y el vehículo precedente en función de la velocidad del propio vehículo.

En el caso específico de este modelo sin pendiente positiva ni negativa, los vehículos se encontraban bastante cerca unos de otros. Debido a esta proximidad, la variable que indica la distancia entre los vehículos es significativamente más reducida en comparación con otros estudios similares.

Wiedemann 74		Wiedemann 74	
Model parameters		Model parameters	
Average standstill distance:	2,00 m	Average standstill distance:	1,00 m
Additive part of safety distance:	2,00	Additive part of safety distance:	1,00
Multiplic. part of safety distance:	3,00	Multiplic. part of safety distance:	1,50

Figura 61: Configuración inicial del Modelo de seguimiento (dcha.) y configuración adaptada al modelo (izq.)

- **Visión hacia adelante:** por defecto, el programa tiene una distancia de visión hacia delante de 250 m, que se modifica a 500 m. Este parámetro afecta a la antelación con la que los vehículos toman decisiones, para, por ejemplo, giros por rutas vehiculares. En la realidad, cuando una persona va conduciendo tiene en su mente desde mucho antes la próxima maniobra a realizar (giros, cambios de carril, aparcamiento...), por ello se amplía considerablemente este parámetro.

Look ahead distance

Minimum: 0,00 m

Maximum: 500,00 m

Figura 62: Modificación del parámetro de visión hacia delante.

- **Calibrado de tráfico en el modelo:** para fidelizar la realidad, se ha iterado en numerosas ocasiones. Se ajusta el modelo realizando entre otras modificaciones las rutas vehiculares, donde se juega con los % de giros en las intersecciones.
- **Introducción de zonas de frenada:** en el programa son llamadas “Reduced speed areas” y como su nombre indican, limitan la velocidad de los vehículos seleccionados. Por ejemplo, se ha usado en el modelo antes de paradas de autobuses o en giros complicados.



Figura 63: Introducción de una zona de reducción de velocidad para aumentar la seguridad vial con la parada de TP.

4.3 Escenario 2: situación final

El modelo que se presenta en este apartado es el resultado tras las obras de ampliación del Metrocentro. Durante la realización del presente Trabajo de Fin de Máster, las obras no han finalizado, por lo que se obtiene información del Proyecto a ejecutar en la obra, además de diferentes suposiciones que se explican en los siguientes apartados.

4.3.1 Presentación del modelo

El modelo desarrollado, parte del escenario 1, en el que se introducen las modificaciones que introduce la obra, considerando de entre todos los cambios, los que tengan influencia directa para el tráfico rodado, alineado con el objeto del presente Proyecto.

Gracias al Scenario Management disponible en PTV Vissim, el trabajar con varios escenarios es mucho más llevadero y reduce la posibilidad de fallos humanos.

El cambio a partir del cual pivota todo el modelo es la continuación del Metrocentro desde San Bernardo hasta Nervión y la adaptación a las vías urbanas que ello conlleva. En el Escenario final recordamos que el tranvía salva el cruce entre Ramón y Cajal con San Francisco Javier con un túnel.

A continuación, se presenta el modelo del Escenario 2:

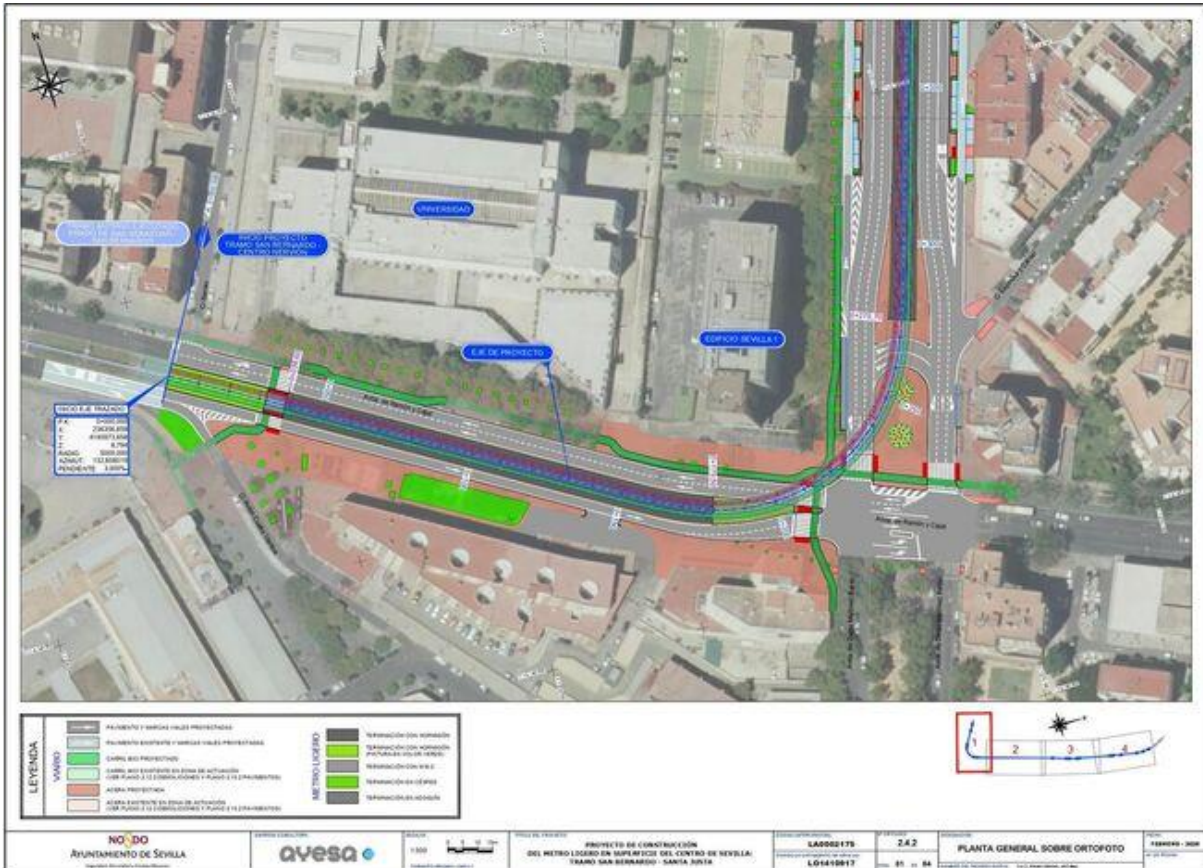


Figura 65: Cruce entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier según el proyecto de Ayesa.

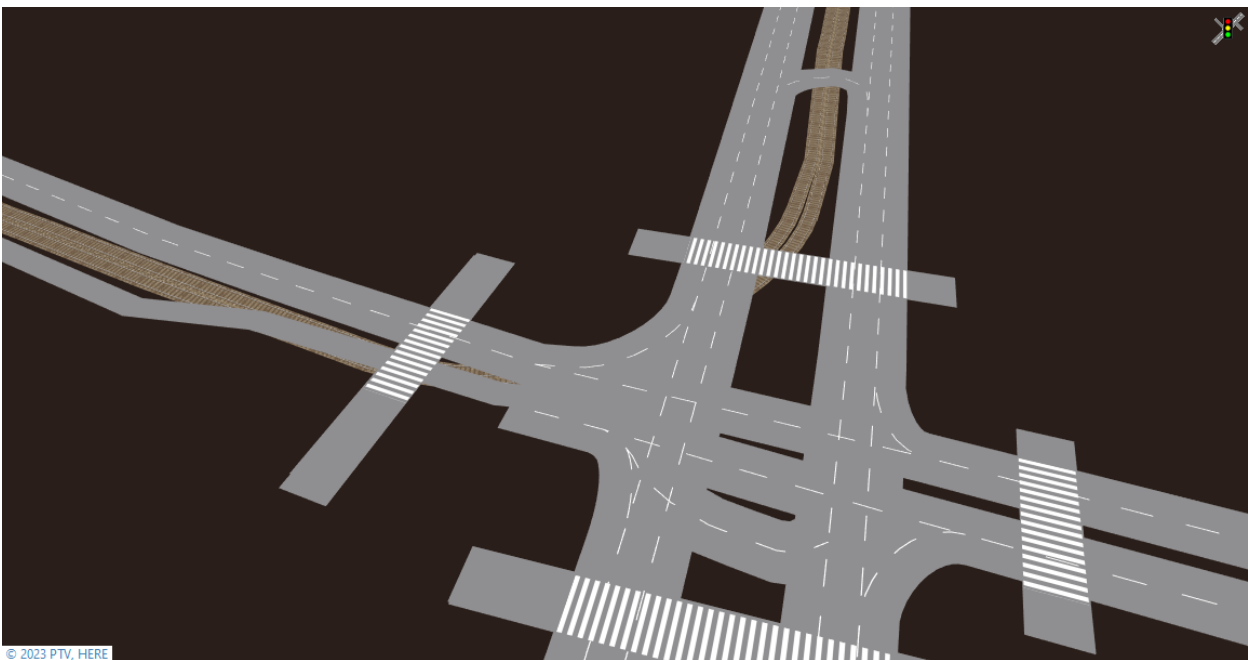


Figura 66: Modelo del cruce entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier en 3D.

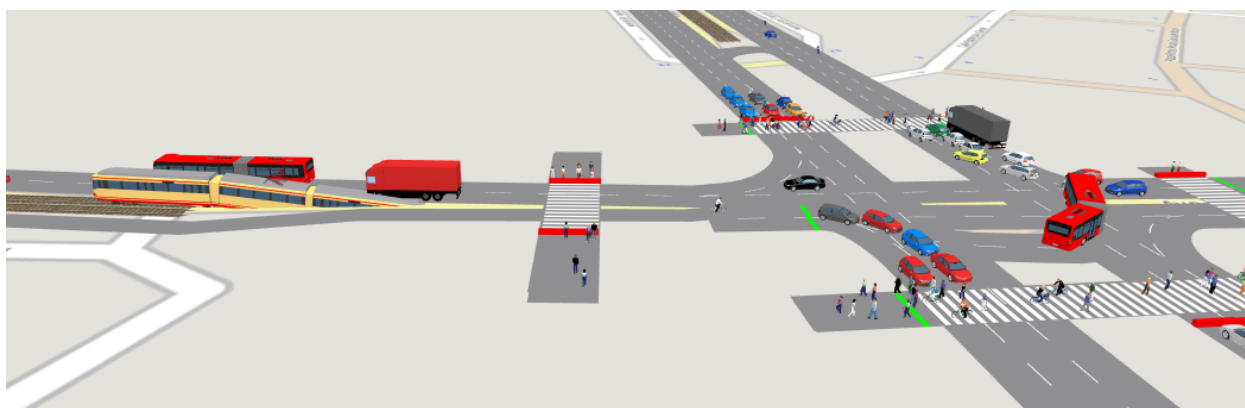


Figura 67: Captura de la simulación en 3D en el cruce entre Ramón y Cajal con San Francisco Javier.

4.3.3 Cruce entre San Francisco Javier y Camilo José Cela

El siguiente cruce en sentido Nervión es el que transcurre entre San Francisco Javier y Camilo José Cela.

Este cruce es atravesado en superficie por el tranvía, lo que hace que se tenga que modificar por completo la disposición que se tenía en el escenario inicial.

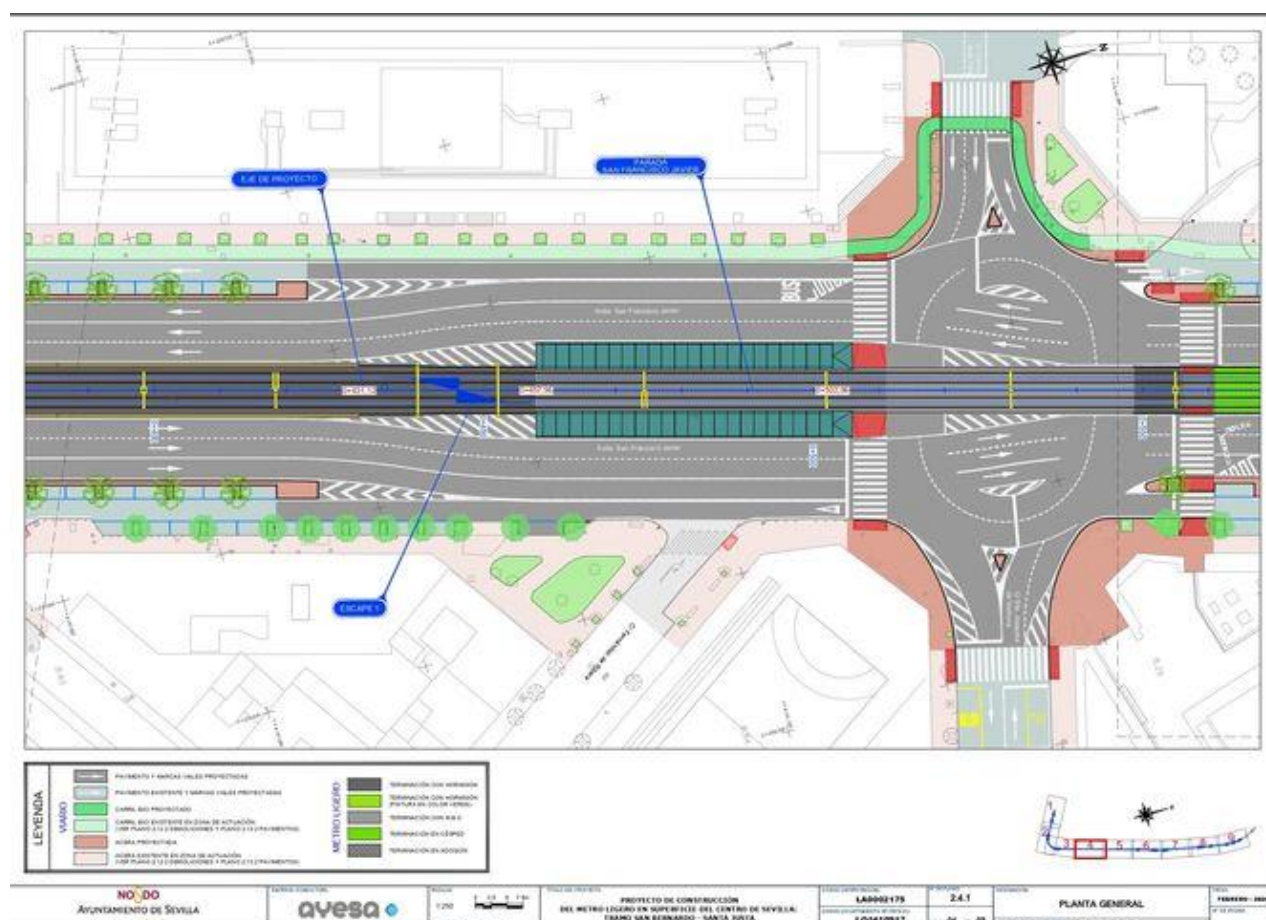


Figura 68: Cruce entre San Francisco Javier y Camilo José Cela según el proyecto de Ayesa.

El Layout diseñado permite todos los giros posibles en cada una de las dos vías y en cada uno de sus sentidos protagonistas en el modelo (hablando del tráfico rodado). Ello es posible con la construcción de una rotonda con dos tres carriles en cada sentido, que prioriza al vehículo que continúa recto en la Avenida San Francisco Javier, ya que es la ruta principal (con mayor volumen), de forma que la intersección tenga menos posibilidades de colapsarse.

Así, se obtiene el siguiente resultado para el modelo del escenario final, Figura 69.

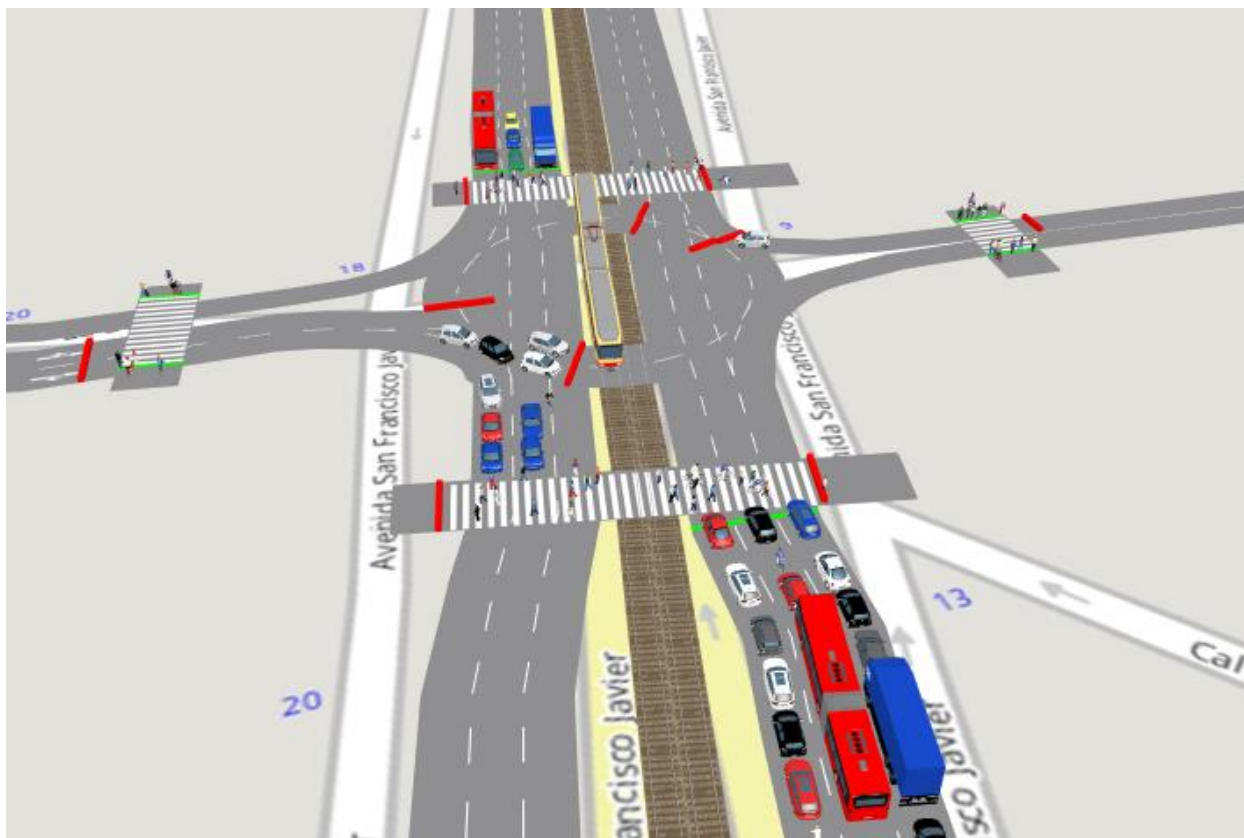


Figura 69: Captura de la simulación en 3D en el cruce entre San Francisco Javier con Camilo José Cela.

La intersección no permite las rutas que atraviesen las vías del tranvía mientras este se encuentra dentro de la intersección (modelado con semáforos gobernados por detectores), de forma similar a la intersección entre La Borbolla y Ramón y Cajal o la de la Plaza de Don Juan de Austria.

4.3.4 Cruce entre San Francisco Javier y Eduardo Dato

La última intersección que tiene influencia en el Escenario 2 por las obras de ampliación del tranvía es el cruce entre San Francisco Javier y Eduardo Dato.

El Proyecto de Ayesa planifica la creación de una rotonda para salvar el cruce, siendo atravesado por el tranvía de una forma similar a la intersección entre La Borbolla y Ramón y Cajal, o al cruce anterior entre San Francisco Javier y Camilo José Cela. Se puede observar el plano de Ayesa para este cruce en Figura 70 y el modelado llevado a cabo en la Figura 71.

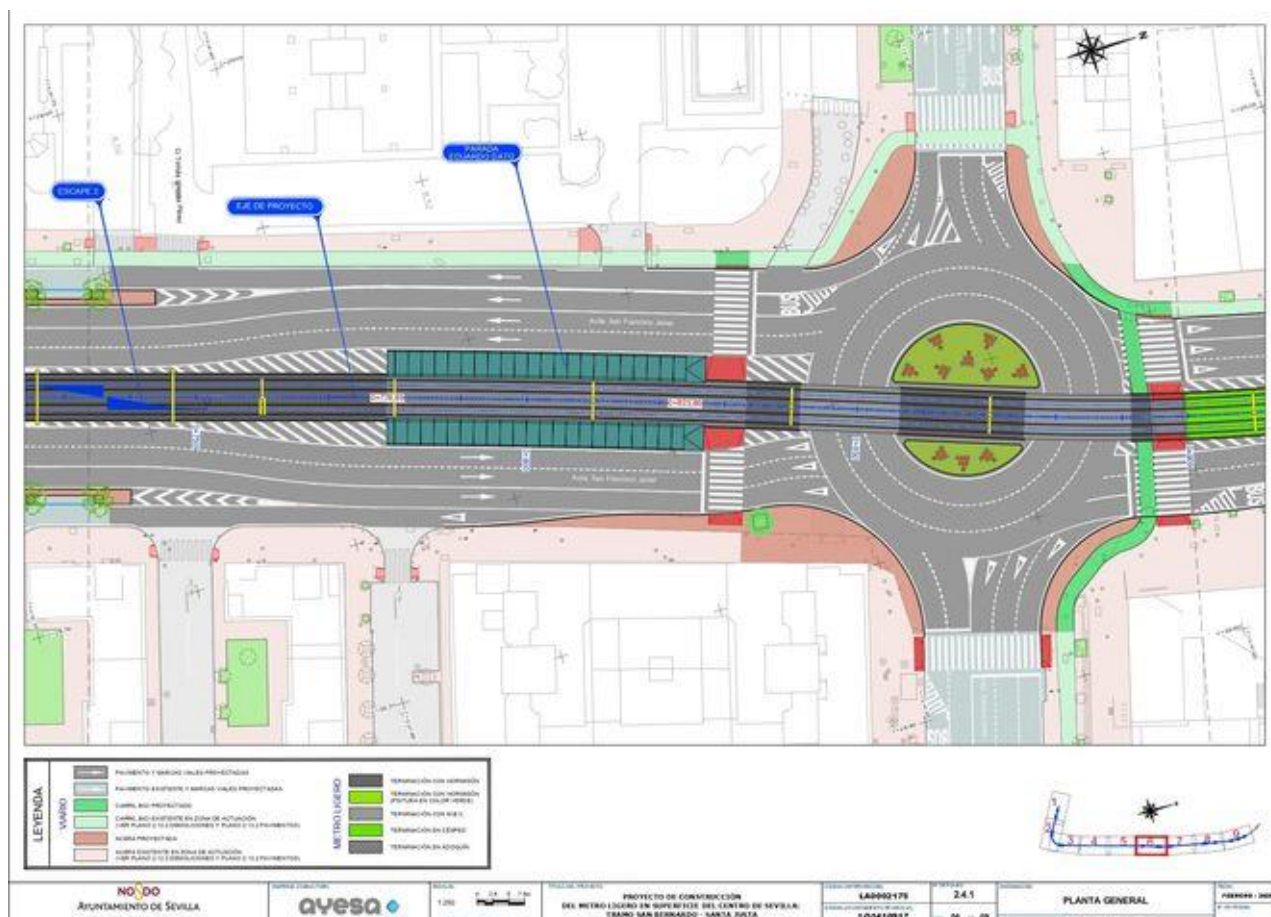


Figura 70: Cruce entre San Francisco Javier y Eduardo Dato según el proyecto de Ayesa.



Figura 71: Captura de la simulación en 3D en el cruce entre San Francisco Javier con Eduardo Dato.

4.3.5 Diferencias en el modelo

En el presente apartado se pretende plasma las diferencias del Escenario 2 con el Escenario 1.

En cuanto al modelo anterior, las rutas vehiculares se mantienen, es decir, se admite que los vehículos van a realizar los mismos giros (en términos relativos) en cada cruce.

De esta forma, también se mantienen las rutas de transporte público o las rutas peatonales.

Más allá de los cambios en la modificación en los cruces antes mencionados en el modelo, hay una diferencia capital con el anterior modelo: el volumen vehicular.

Para estimar la reducción de vehículos que tiene lugar en la zona, se cuenta con el siguiente dato de la Figura 72:



Figura 72: Noticia que recoge la reducción de tráfico estimada. (ANA S. AMENEIRO, 2022)

Como argumenta la noticia: “Desde el gobierno local se argumenta que los que aparcen hoy en esas plazas no son vecinos, sino personas ajenas al barrio que vienen a hacer gestiones, a trabajar o de compras, por lo que con el tranvía ya no tendrán necesidad de traer el coche ni aparcar.” La reducción de tráfico viene dada fundamentalmente por las personas ajenas al barrio, impulsadas por la reducción de plazas de aparcamiento y por la operatividad del tranvía. Esta estimación es muy optimista, confiando en un impacto directo de la ampliación del tranvía en el reparto modal de los viajes con Origen o Destino en la zona, menospreciando posiblemente los viajes de paso. Sin embargo, llevar a cabo una estimación más precisa requeriría un estudio de gran envergadura que sobrepasa la dimensión de un Trabajo Fin de Máster, además de requerir un fuerte desembolso económico para la realización de encuestas. Por tanto, en este estudio se dan por buenas dichas estimaciones sin entrar en otras valoraciones sobre su fiabilidad.

Es por ello que para el cálculo de la reducción relativa de vehículos, solo se tienen en cuenta los 5 días laborables de la semana, se extrapola a que el tráfico total del día es el equivalente a 4 horas punta máxima (tramo horario con la que se trabaja en el modelo) y se tiene en cuenta la drástica reducción de tráfico y actividad que se da entre los meses de junio y septiembre con el verano.

Así pues, con la reducción de 1,3 millones de desplazamientos, se calcula la cantidad de desplazamientos que tienen lugar en la simulación 1 en términos absolutos, Tabla 3, (calculada como sumatorio de entradas de vehículos al Sistema), se tiene un total de 10.000 vehículos la hora punta máxima y teniendo en cuenta las hipótesis anteriores, se tiene que el tráfico total anual que transcurre por el modelo 1 es de unos 11 millones de desplazamientos anuales en total, lo que supone que la reducción absoluta de 1,3 millones de desplazamientos es una reducción relativa de 14,5%.

Para el presente proyecto, se decide redondear a **15% la reducción relativa esperada** en los desplazamientos como impacto a la obra de ampliación del Metrocentro.

Así pues, la reducción se materializa en el modelo de forma uniforme como una reducción a las entradas vehiculares al modelo de la Tabla 3.

4.4 Escenario 3: Situación alternativa

El escenario 3 que se pretende simular es la solución alternativa al túnel que se construye para salvar la intersección entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier. Esta alternativa consiste en el transcurso del tranvía por la superficie, interactuando con el tráfico rodado tal y como sucede en el resto de intersecciones del trazado.

Esto sin duda hubiera conllevado una reducción del presupuesto de un montante muy significativo del proyecto, así como una duración de las obras menores, dada la reducción de complejidad de las mismas.



Figura 73: Intersección entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier en el Escenario 3.

Así pues, la seguridad vial viene dada por semáforos gobernados por detectores del tranvía, de igual forma que en el resto de intersecciones.

El resto del modelo es exactamente igual que en el escenario 2, para observar de forma clara el impacto que tiene el túnel en el global de la obra de ampliación.

5 MICROSIMULACIÓN Y RESULTADOS

5.1 Introducción

En el presente capítulo se expondrán los resultados obtenidos tras las simulaciones ejecutadas en los modelos construidos.

Para ello, en primer lugar, se presentarán los resultados obtenidos y seguidamente se comentarán conclusiones en base a ellos, analizando distintos parámetros y comparándolos entre modelos.

Se obtienen resultados de dos formas:

1. Network Performance: toma resultados del modelo continuo.
2. Node Results: los resultados obtenidos están referidos a nodos creados por el usuario.

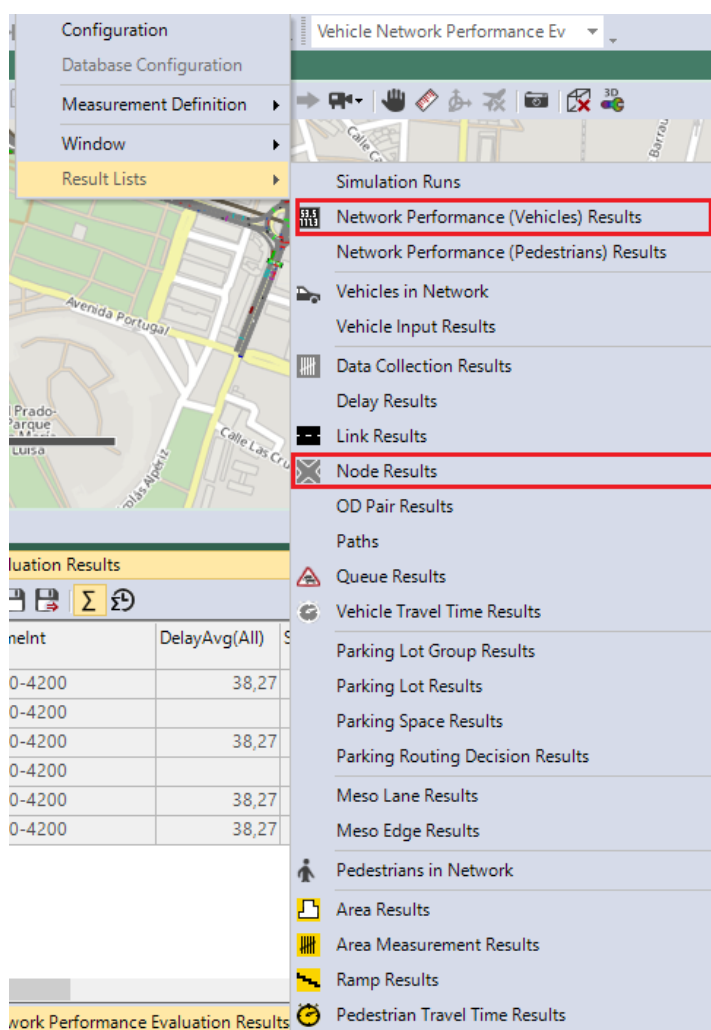


Figura 74: Tipos de resultados que ofrece PTV Vissim.

5.2 Presentación de resultados

Para poder obtener unos resultados lo más arbitrarios y parecidos a la realidad posible, se realizan diez simulaciones por escenario, de una duración de setenta minutos, donde los diez primeros no cuentan, tiempo suficiente para que la red llegue a régimen permanente. Es necesario realizar varias simulaciones en cada escenario debido a la naturaleza aleatoria del software, tal y como se expone en el apartado 2.9 Simulaciones en PTV Vissim.

PTV Vissim proporciona los resultados en forma de tablas (entre otras formas). Estas tablas contienen datos detallados sobre diversos aspectos del tráfico simulado y permiten una revisión más exhaustiva de los resultados.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de Network Performance, es decir, los datos de la red completa.

Count	SimRun	TimeInt	DelayAvg(All)	StopsAvg(All)	SpeedAvg(All)	DelayStopAvg(All)	DistTot(All)	TravTmTot(All)	DelayTot(All)	StopsTot(All)	DelayStopTot(All)	VehAct(All)	VehArr
1	1	600-4200	38,00	1,11	14,82	28,35	8967,24	2177972,60	1138993,12	33287	849548,53	560	2
2	2	600-4200	37,78	1,10	14,92	28,09	9033,93	2179185,50	1134205,74	33066	843319,31	626	2
3	3	600-4200	38,04	1,10	14,79	28,43	8968,15	2183650,50	1143076,02	33141	854493,47	519	2
4	4	600-4200	38,18	1,12	14,91	28,36	9086,95	2193417,40	1147927,60	33690	852751,90	547	2
5	5	600-4200	37,75	1,09	14,83	28,15	8902,78	2161028,20	1128443,17	32651	841552,29	511	2
6	6	600-4200	37,93	1,10	14,80	28,38	8964,82	2181265,00	1141048,76	33061	853838,43	570	2
7	7	600-4200	38,34	1,12	14,67	28,63	8920,03	2188965,00	1150910,48	33533	859435,82	538	2
8	8	600-4200	37,17	1,08	14,95	27,75	8860,52	2134111,70	1106275,10	32161	825830,53	502	2
9	9	600-4200	37,29	1,08	14,73	28,04	8779,67	2146392,50	1114993,03	32165	838347,40	515	2
10	10	600-4200	37,35	1,07	14,90	27,97	8775,37	2120121,70	1101506,43	31693	825017,49	539	2
11	Average	600-4200	37,78	1,10	14,83	28,22	8925,95	2166611,01	1130737,95	32845	844413,52	543	2
12	Standard deviation	600-4200	0,40	0,02	0,09	0,26	100,83	25095,35	17471,28	655	11924,37	37	2
13	Minimum	600-4200	37,17	1,07	14,67	27,75	8775,37	2120121,70	1101506,43	31693	825017,49	502	2

Tabla 4: Resultados de la red en el Escenario 1.

Como se observa, se da una cantidad muy variada de parámetros, aunque para el interés del presente proyecto, se centrará en los tres primeros: retraso medio, tiempo de parada media y velocidad media.

Además de esta terna de parámetros del modelo de forma global, resulta interesante

Count	Movement	LOSVal(All)	VehDelay(All)	PersDelay(All)	StopDelay(All)	Stops(All)	EmissionsCO	EmissionsNOx	EmissionsVOC	FuelCont
1	1: RyC-SFJ - 33: Ramon Carande@268.5 - 38: SJ sur@678.9	4	42,67	42,88	31,02	1,32	101,751	19,797	23,582	
2	1: RyC-SFJ - 33: Ramon Carande@268.5 - 39: SJ norte@315.4	5	64,17	59,98	38,87	2,03	123,640	24,056	28,655	
3	1: RyC-SFJ - 33: Ramon Carande@268.5 - 40: Ramon y cajal 2- E@...	3	28,53	29,82	20,04	0,80	195,660	38,068	45,346	
4	1: RyC-SFJ - 38: SJ sur@591.2 - 21: Juan de Mata S@22.7	4	48,52	49,06	28,81	2,05	946,433	184,141	219,345	
5	1: RyC-SFJ - 38: SJ sur@591.2 - 38: SJ sur@678.9	2	17,86	17,63	12,45	0,46	460,886	89,672	106,815	
6	1: RyC-SFJ - 39: SJ norte@227.6 - 39: SJ norte@315.4	3	22,32	22,09	12,26	0,73	1239,812	241,222	287,338	
7	1: RyC-SFJ - 39: SJ norte@227.6 - 40: Ramon y cajal 2- E@40.2	3	27,40	28,16	14,80	1,13	392,848	76,434	91,046	
8	1: RyC-SFJ - 41: Ramon y cajal 2- E@312.9 - 21: Juan de Mata S@...	3	30,97	30,29	18,45	0,86	409,557	79,685	94,919	
9	1: RyC-SFJ - 41: Ramon y cajal 2- E@312.9 - 39: SJ norte@315.4	4	48,27	49,29	30,53	1,71	1061,643	206,557	246,046	
10	1: RyC-SFJ	3	31,08	31,17	18,82	1,07	4948,365	962,772	1146,831	
11	9: SFJ-CJC - 38: SJ sur@295.2 - 38: SJ sur@367.1	1	7,86	6,00	4,58	0,16	220,747	42,949	51,160	
12	9: SFJ-CJC - 38: SJ sur@295.2 - 65: Camilo José Cela-O@36.2	2	19,74	19,28	11,52	0,66	88,260	17,172	20,455	
13	9: SFJ-CJC - 39: SJ norte@540.3 - 39: SJ norte@613.1	2	14,32	13,62	8,85	0,43	690,597	134,365	160,053	
14	9: SFJ-CJC - 39: SJ norte@540.3 - 63: Santa Joaquina de Vedruna-...	3	23,72	23,50	12,94	0,93	227,372	44,238	52,696	
15	9: SFJ-CJC - 62: Santa Joaquina de Vedruna-O@166.6 - 38: SJ sur...	5	64,37	71,18	48,31	1,82	115,905	22,551	26,862	
16	9: SFJ-CJC - 62: Santa Joaquina de Vedruna-O@166.6 - 39: SJ north...	5	60,04	64,55	46,62	1,44	73,762	14,351	17,095	

Tabla 5: Resultados en los nodos en el Escenario 1.

5.3 Retrasos en el sistema

El primer parámetro a revisar es el "DelayAvg(All)". Comúnmente utilizado en los resultados de evaluación del rendimiento de la red de vehículos en PTV Vissim. Este parámetro representa el promedio de retraso de todos los vehículos en la red simulada.

El retraso se refiere al tiempo adicional que un vehículo tarda en recorrer una determinada distancia debido a la

congestión del tráfico o a otros factores que afectan la fluidez del movimiento. El retraso se calcula como la diferencia entre el tiempo de viaje real de un vehículo y el tiempo de viaje que tendría en condiciones de flujo libre.

Así pues, se presenta para los tres escenarios, los resultados en forma de gráficas, en primer lugar, por simulaciones (diez por escenario):

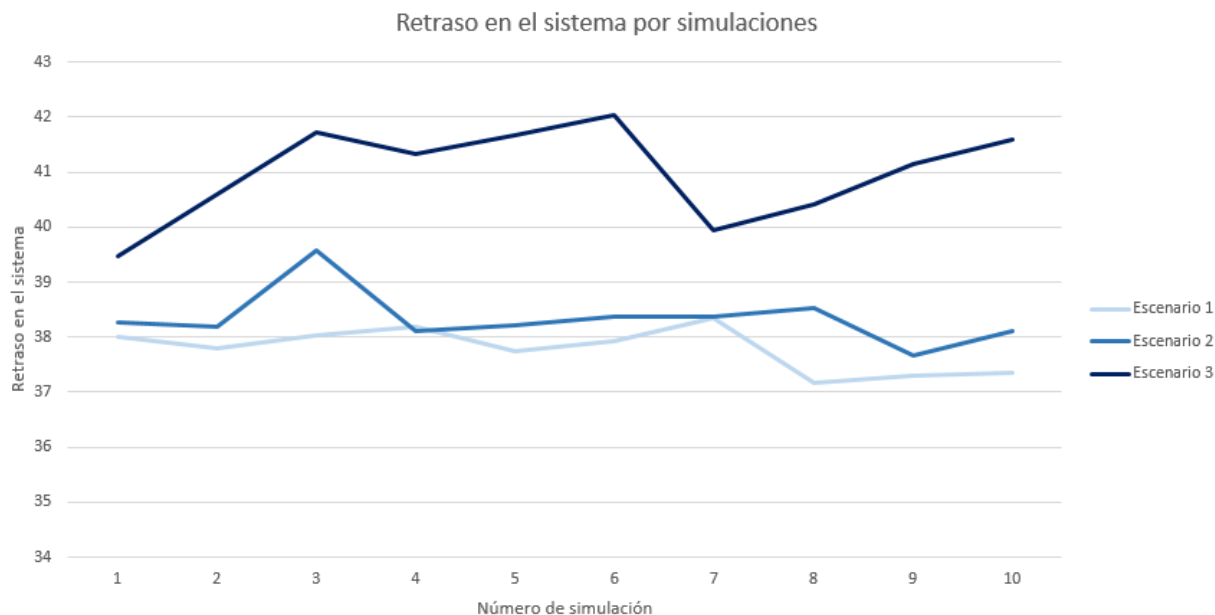


Figura 75: Gráfica con los retrasos en el sistema por simulación.

y finalmente se representa la media de los retrasos de todas las simulaciones,

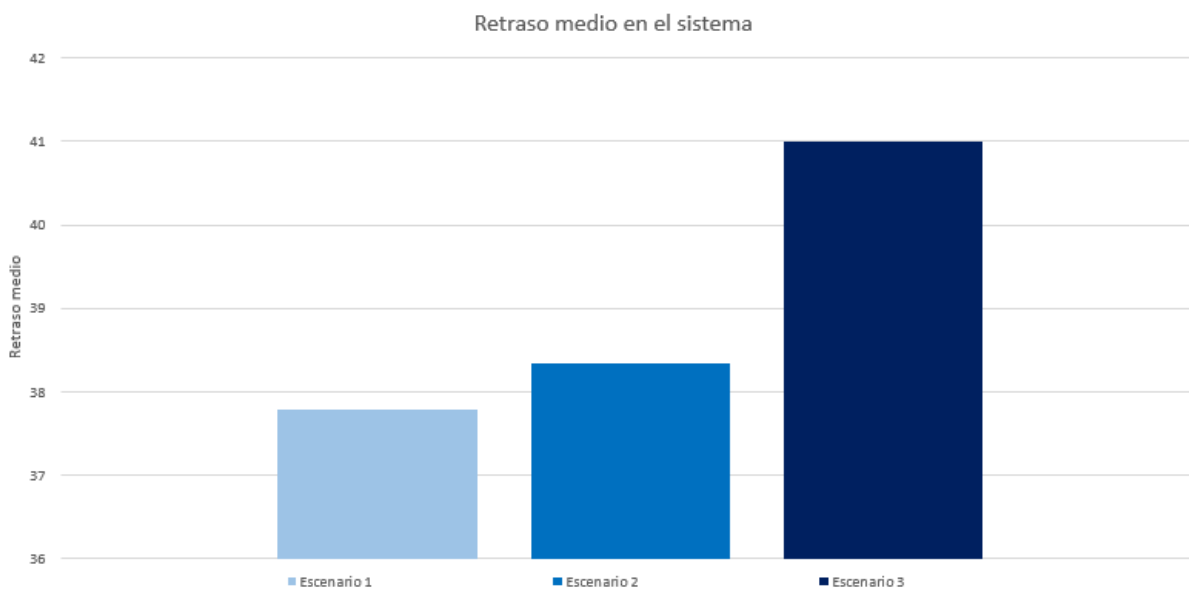


Figura 76: Gráfica con los retrasos en el sistema por simulación.

Se puede observar que, en cada escenario (Figura 75), las distintas simulaciones dan valores dispares entre sí, debido a la componente aleatoria del programa (cada simulación tiene una semilla (o seed) diferente, lo que conlleva diferentes situaciones de tráfico en cada una de ellas.

En la Figura 76, se tiene el retraso medio en el sistema, es apreciable que en el Escenario inicial es donde menos retrasos existen, es decir, cualquiera de los dos Escenarios futuros a las obras del Metrocentro, empeoran la eficiencia de la red.

A pesar de ello, y con las estimaciones de disminución de un 15% del tráfico rodado con el funcionamiento del tranvía, los retrasos en el sistema no son muy diferentes en el escenario 1 y 2, donde sí radica gran diferencia es con el escenario 3, en el que el transcurso del tranvía por superficie parece tener importancia significativa en la red.

5.4 Paradas en el Sistema

Para analizar con más detalle los retrasos que tienen lugar en el Sistema, resulta interesante conocer el tiempo de parada que tiene lugar en cada escenario. Para ello, se requiere del parámetro "StopAvg(All)" en los resultados de la evaluación del rendimiento de la red de vehículos, ya que, indica el promedio de la cantidad de paradas realizadas por todos los vehículos en el sistema.

Este parámetro es una medida de la eficiencia del sistema de transporte, donde un valor más bajo indica que los vehículos realizan menos paradas, lo cual es deseable ya que implica un flujo más fluido y rápido de los vehículos. Por otro lado, un valor más alto de "StopAvg(All)" indica que los vehículos realizan más paradas, lo cual puede ser indicativo de congestión, retrasos y un flujo de tráfico menos eficiente.

Al igual que en el apartado anterior, se va a mostrar una gráfica con los valores por simulación y otra con los valores medios en cada escenario.

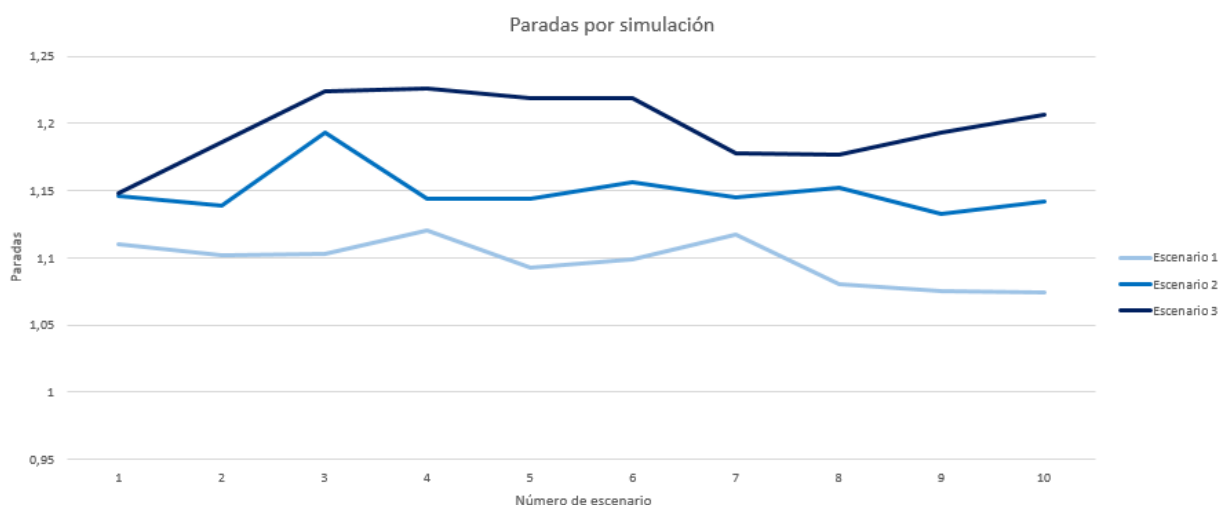


Figura 77: Gráfica con las paradas en el sistema por simulación.

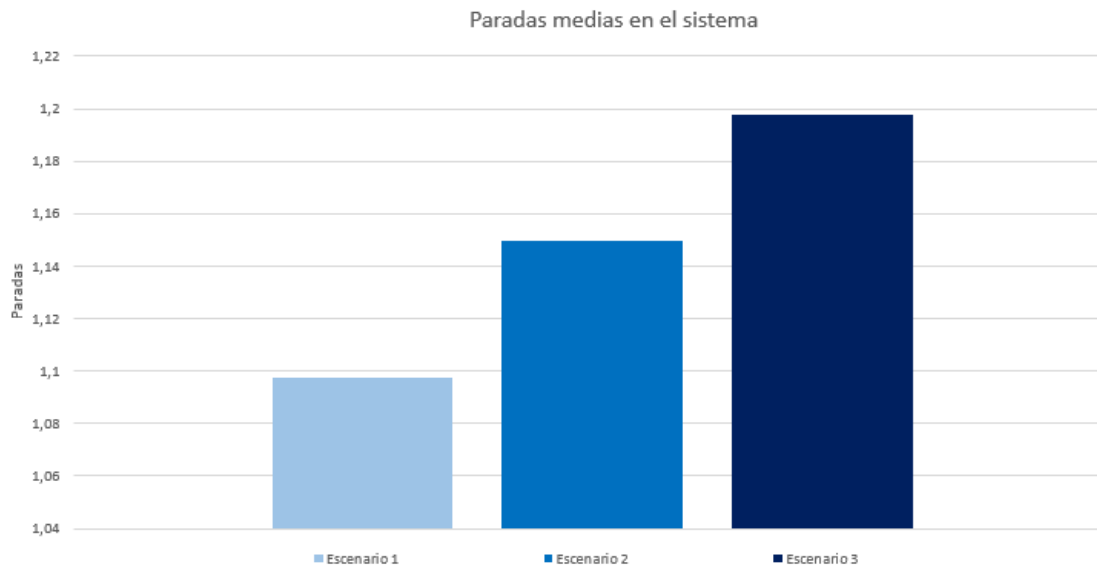


Figura 78: Gráfica con las paradas en el sistema por simulación.

Evaluando las paradas en cada simulación, se llega a la misma conclusión que en el apartado anterior, donde existe variación entre cada una de ellas.

En cuanto a los términos medios de cada escenario, en este caso, si hay una diferencia más significativa en las paradas que tienen lugar en cada uno, observándose una tendencia escalonada, donde parece no estar influenciado por los términos absolutos de volumen de tráfico (es decir por la disminución del 15% del tráfico).

5.5 Velocidad media

Un parámetro de suma importancia es la velocidad media de todos los agentes del Sistema.

Para ello, se recurre al parámetro "SpeedAvg(All)" en los resultados de la evaluación del rendimiento de la red de vehículos, que indica el promedio de la velocidad de todos los vehículos en el sistema.

Este parámetro es una medida de la velocidad promedio a la que los vehículos se desplazan en el sistema de transporte. Un valor más alto de "SpeedAvg(All)" indica que los vehículos tienen una mayor velocidad promedio, lo cual es deseable ya que implica un flujo más rápido y eficiente de los vehículos en la red. Por otro lado, un valor más bajo de "SpeedAvg(All)" indica que los vehículos tienen una velocidad promedio más baja, lo cual puede ser indicativo de congestión, retrasos y un flujo de tráfico menos eficiente.

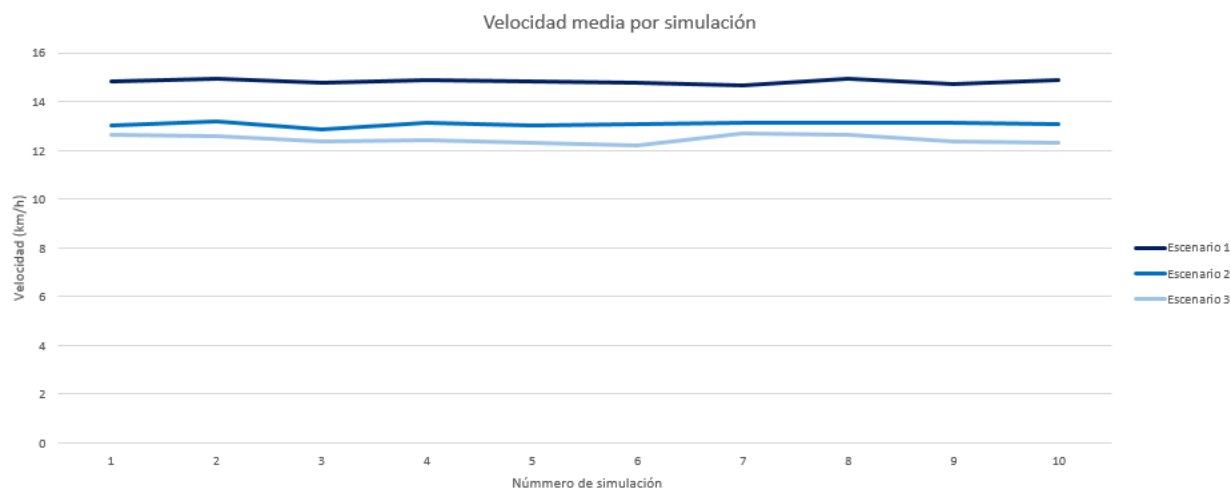


Figura 79: Gráfica con la velocidad media en el sistema por simulación.

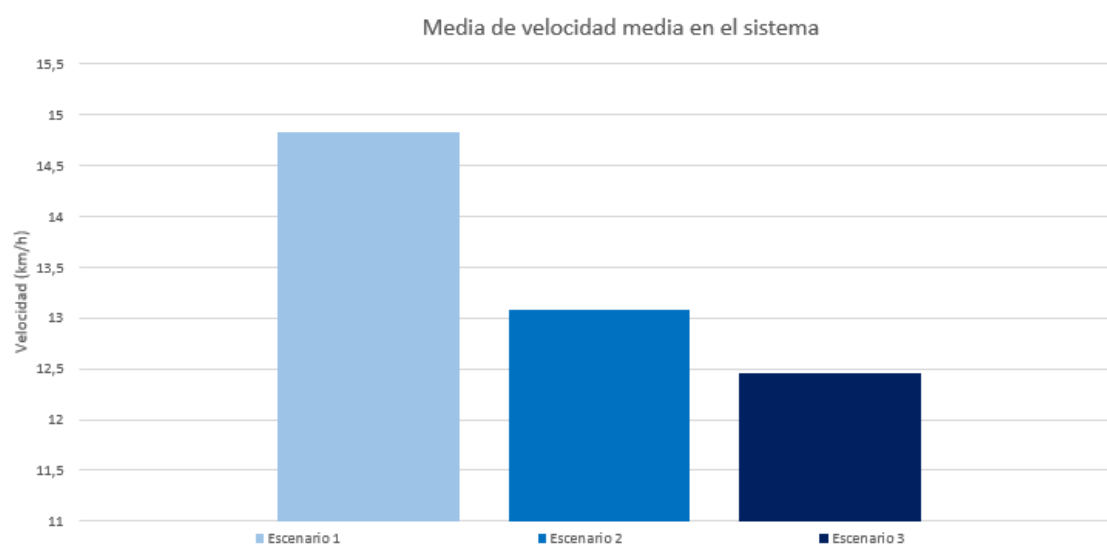


Figura 80: Gráfica con la velocidad media en el sistema por simulación.

La velocidad media en el sistema, al ser un valor medio entre una gran cantidad de vehículos que transitan por la simulación, es un valor prácticamente constante en las distintas simulaciones dentro de cada escenario, donde tiene poco peso la componente aleatoria del software.

Si se observa el valor medio del sistema, se confirma la tendencia observada en las paradas del sistema, donde, la velocidad media del sistema cae en el Escenario final (escenario 2) y lo hace más aún en el Escenario alternativo (escenario 2), confirmando, la necesidad del túnel en el cruce entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier.

5.6 Nivel de servicio en los nuevos cruces.

A partir de ahora, se analizarán los datos que ofrece el software para los nodos creados, en el apartado de resultados Node Results.

En el presente apartado se analizará el impacto en el tráfico rodado en los tres grandes cruces nuevos:

- Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier
- Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela
- Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato

Estos tres grandes cruces se compararán entre los dos escenarios futuros, es decir, el escenario 2 y 3.

Para analizar el impacto de las obras y los cambios viales que ocurren en estas intersecciones, se crearán nodos, de esta forma, se analizarán estos tres volúmenes de control por separado, con sus respectivas entradas y salidas del mismo.

En estos nodos, el parámetro a analizar será el **Nivel de Servicio**.

En VISSIM, el parámetro "Nivel de servicio" mide la calidad del servicio de tráfico en una red de carreteras. Se utiliza para evaluar la eficiencia y el rendimiento de la red en términos de la capacidad de la vía, la velocidad de los vehículos, el tiempo de espera en las colas de tráfico y la seguridad vial.

El nivel de servicio se basa en la teoría de capacidad de vías y se define como la relación entre la demanda de tráfico y la capacidad de la misma. Cuanto mayor sea el nivel de servicio, menor será el tiempo de espera en las colas de tráfico, mayor será la velocidad media de los vehículos y menor será la probabilidad de congestión y accidentes de tráfico.

El nivel de servicio se representa mediante una letra que va de A a F, siendo A el mejor nivel de servicio y F el peor. El nivel de servicio se calcula para cada tramo de la red de carreteras y para la red en su conjunto, y se utiliza para identificar los puntos críticos de congestión y los cuellos de botella en la red de carreteras.

Concretamente, Vissim hace una correspondencia de los niveles de servicio A-F con números del 1 al 6, de forma que el nivel A corresponde con el número 1 y así sucesivamente.

Estos niveles de servicio serán representados por unos gráficos en forma de nervios con un espesor en relación al volumen de tráfico que circula por cada ruta y un color relacionado con el nivel de servicio de la misma, tal y como aparece en la siguiente tabla:

Count: 6	LowerBound	UpperBound	Color	Name
1	MIN	1,000	 (100, 0, 255, 0)	
2	1,000	2,000	 (255, 218, 255...	
3	2,000	3,000	 (100, 255, 255...	
4	3,000	4,000	 (100, 255, 128...	
5	4,000	5,000	 (100, 255, 0, 0)	
6	5,000	MAX	 (255, 214, 127...	

Tabla 6: Escala de colores de Nivel de Servicio.

Cabe destacar que estas representaciones que se muestran a continuación son de una simulación concreta de cada escenario, no son valores medios como en el caso de los Network Performance, por lo que, y por la naturaleza aleatoria de la simulación, no serán igual de representativos que en los apartados anteriores.

5.6.1 Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier

Este primer cruce es el crítico en la simulación, ya que es el único diferente entre el escenario 2 y 3.

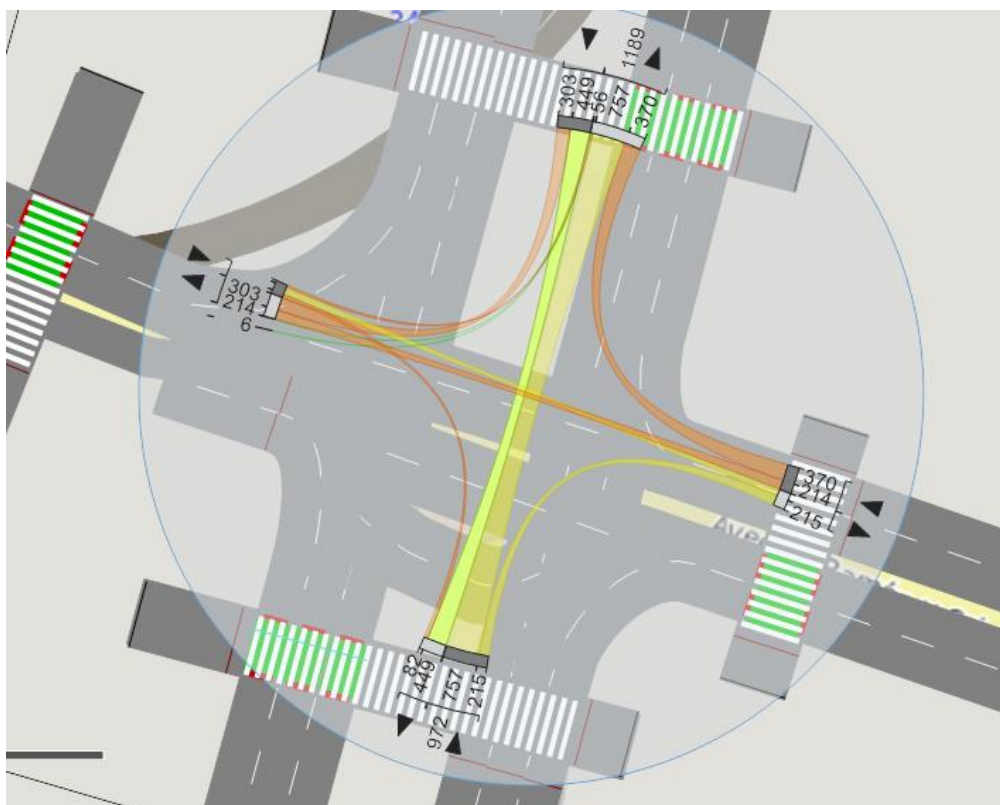


Figura 81: Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier escenario 2(final).

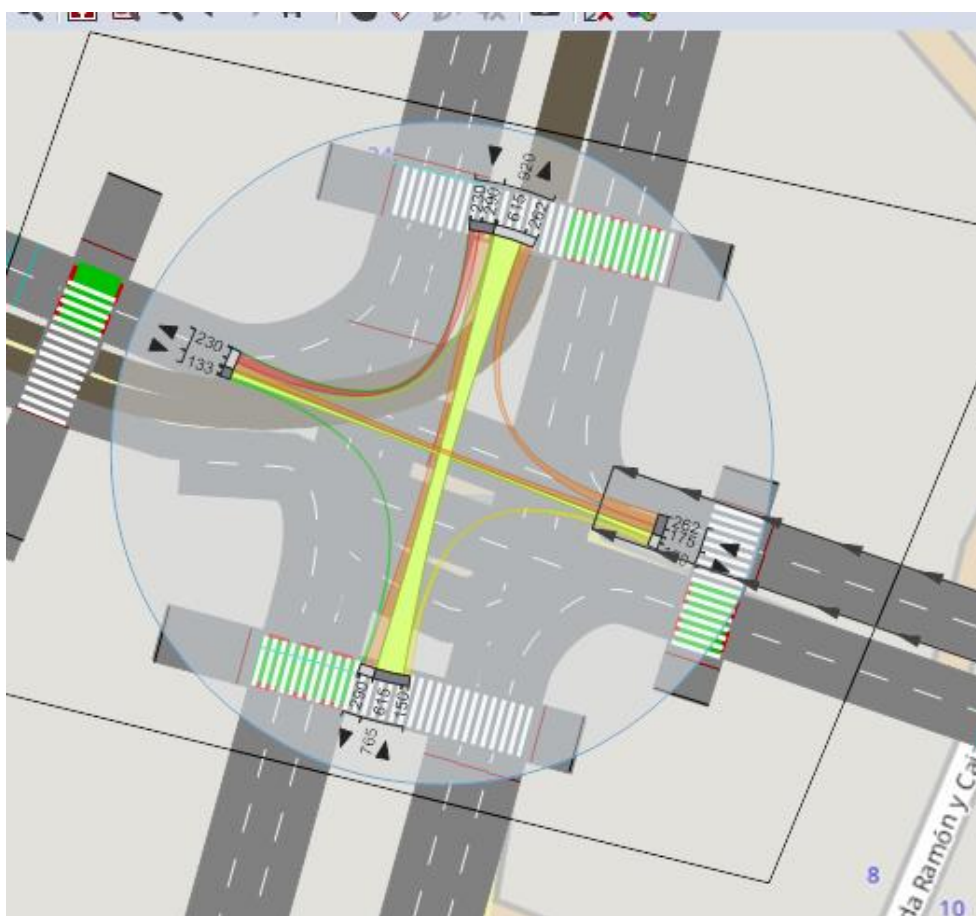


Figura 82: Cruce Ramón y Cajal con san Francisco Javier en escenario 3 (alternativo).

Con la gama de colores y el volumen de cada uno de los nervios, se aprecia que se deduce que en el escenario 3 disminuye apreciablemente el nivel de servicio del cruce, y en especial las rutas vehiculares que atraviesan las vías del tranvía, debido a las esperas cuando el tranvía transcurre por estos tramos de vía.

5.6.2 Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela

El siguiente cruce en dirección norte es el que tiene lugar entre San Francisco Javier y Camilo José Cela, donde no existe diferencia alguna de layout entre el escenario 2 y 3.

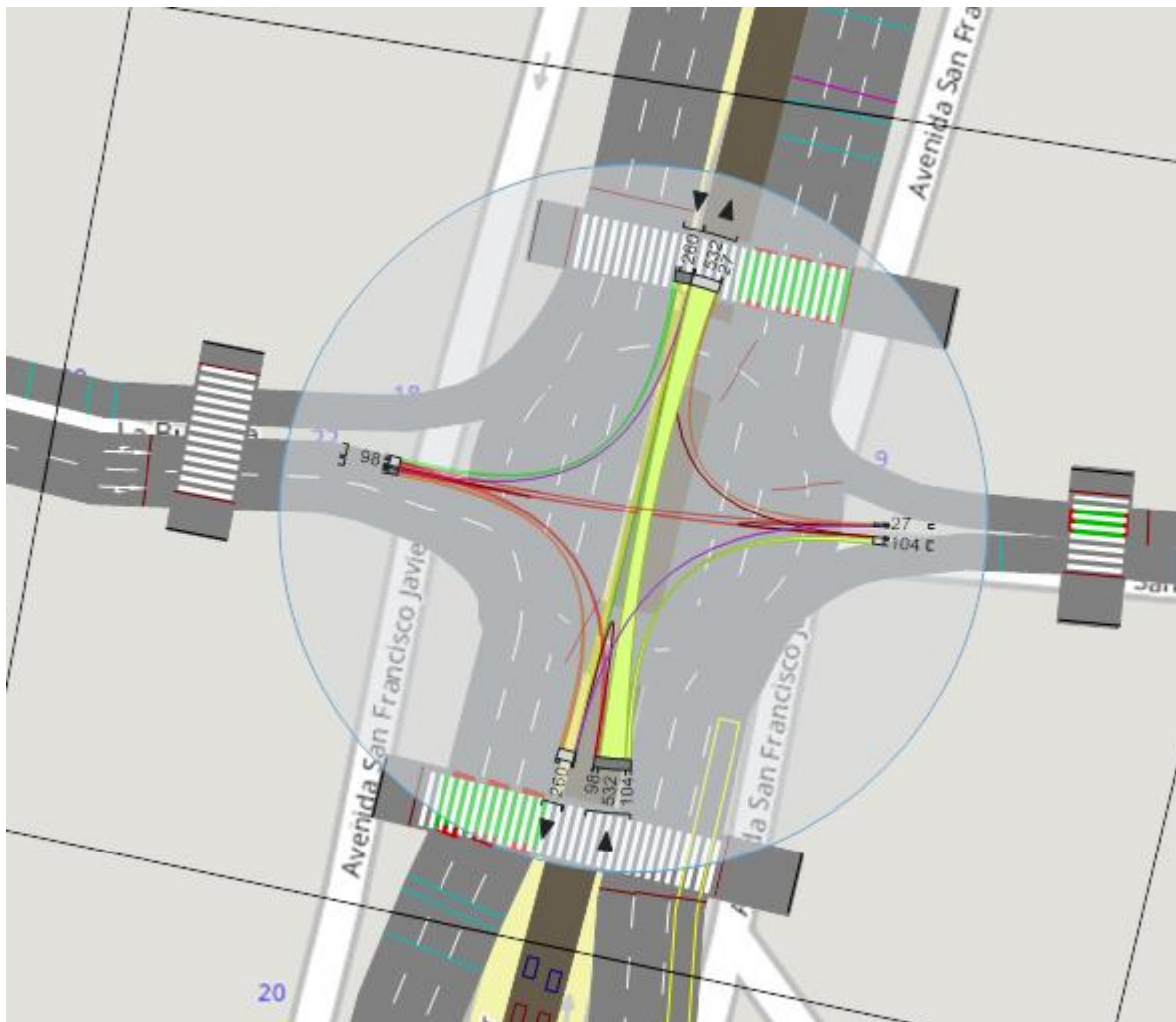


Figura 83: Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela en escenario 2(final).

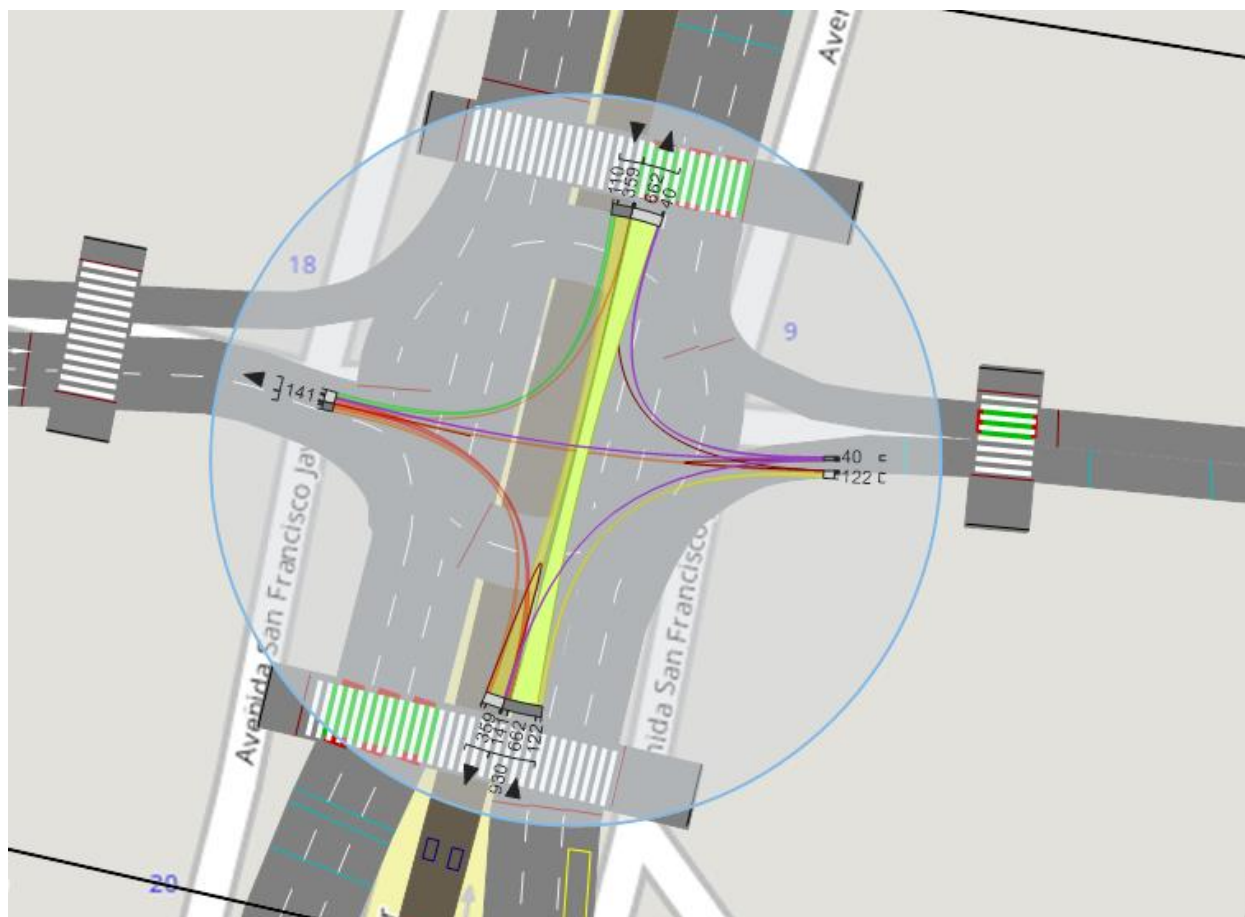


Figura 84: Cruce San Francisco Javier con Camilo José Cela en escenario 3(alternativo).

En la comparativa entre este cruce, también se aprecian algunos nervios que cambian de color a tonalidades de menor nivel de servicio en el escenario 3 respecto al 2, posiblemente marcado por la cercanía de este cruce al de Ramón y Cajal con San Francisco Javier, ya que se encuentra a apenas 300 metros, con lo que cualquier congestión que tenga lugar en aquel, se pueda propagar al presente.

5.6.3 Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato

Por último, se analiza el cruce entre San Francisco Javier con Eduardo Dato, el cruce más alejado al de Ramón y Cajal con San Francisco Javier, protagonista por el túnel.

Analizando las diferentes gráficas se observa la misma tendencia que en los cruces anteriores, donde el nivel de servicio del escenario 3 es menor que en el escenario 2.

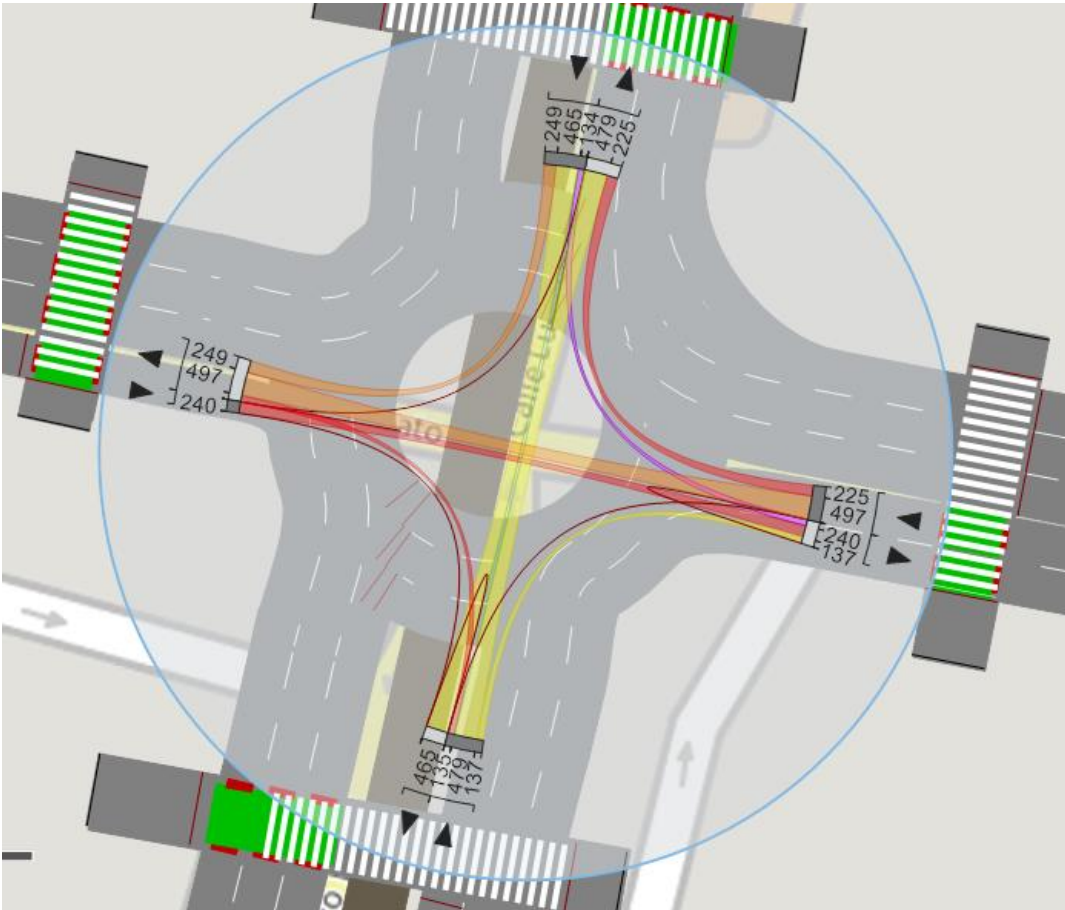


Figura 85: Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato en escenario 2 (final).

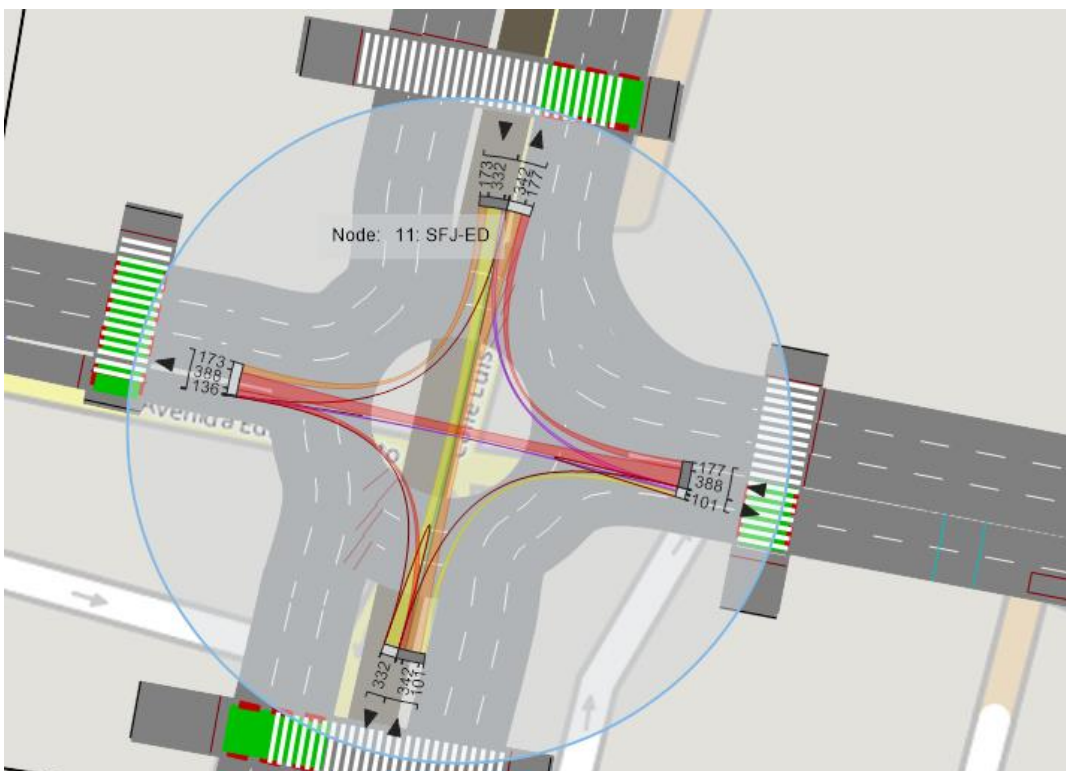


Figura 86: Cruce San Francisco Javier con Eduardo Dato en escenario 3(alternativo).

5.7 Contaminación en los nodos

Por último, se analiza el impacto a ojos de emisiones contaminantes que tiene lugar en los nodos analizados.

Para analizar la contaminación se eligen los parámetros de CO y NOx que el programa ofrece:

- El parámetro "EmissionsCO" en los resultados de nodos en PTV Vissim se refiere a las emisiones de monóxido de carbono (CO) generadas en ese nodo específico de la red de transporte.

El monóxido de carbono es un gas tóxico producido principalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel, en los vehículos. Las emisiones de CO son perjudiciales para la calidad del aire y para la salud humana, ya que pueden contribuir a la formación de smog y afectar negativamente el sistema respiratorio.

En los resultados de nodos indica la cantidad de CO emitido en ese nodo específico durante la simulación de tráfico. Un valor más alto de "EmissionsCO" indica una mayor emisión de CO en ese nodo, lo cual puede ser indicativo de una mayor concentración de tráfico o de condiciones de tráfico menos eficientes.

- De forma análoga, con el parámetro "EmissionsNOx". Los óxidos de nitrógeno, como el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el monóxido de nitrógeno (NO), son gases contaminantes producidos principalmente por la combustión de combustibles fósiles en los vehículos. Estas emisiones de NOx contribuyen a la formación de smog, la lluvia ácida y tienen impactos negativos en la calidad del aire y la salud humana.

Por tanto, en los resultados de nodos indica la cantidad de NOx emitida en ese nodo específico durante la simulación de tráfico. Un valor más alto de "EmissionsNOx" indica una mayor emisión de NOx en ese nodo, lo cual puede ser indicativo de una mayor concentración de tráfico o de condiciones de tráfico menos eficientes.

Simulación	Promedio de CO	Promedio de Nox
Simulación 1	691,80	134,60
Simulación 2	724,08	140,88
Simulación 3	760,54	147,97

Tabla 7: Comparativa de emisiones en los nodos.

Se observa, que en los nodos analizados, los niveles de emisiones contaminantes son más altos en el escenario 3, seguido del escenario 2 y por último del escenario 1.

6 CONCLUSIONES

Tras varias simulaciones de los distintos escenarios propuestos, se obtienen tres conclusiones principales:

1. La ampliación del Metrocentro en Sevilla, desde San Bernardo hasta Nervión, va a suponer una bajada en la eficiencia del sistema de transporte privado, aumentando los tiempos de parada en la red y disminuyendo la velocidad media de los vehículos que transitan por ello. Esta conclusión es fruto de la comparativa entre el escenario 1 con el escenario 2 y 3. El éxito de la medida radicará en el impacto sobre el reparto modal; si consigue tener un trasvase efectivo al transporte público las demoras producidas en el transporte privado serían perfectamente asumibles atendiendo al bien general de la ciudad de Sevilla y sus ciudadanos. Por el contrario, si apenas hay diferencia en el reparto modal antes y después de la medida, quizás habría que haber optado por otras medidas que favorezcan la sostenibilidad del transporte sin tanto consumo de espacio y quizás también de recursos económicos.
2. En la comparativa entre los escenarios final (tranvía con túnel entre Ramón y Cajal y San Francisco Javier) y alternativo (tranvía por la superficie en esta intersección) se observa que los retrasos, paradas y velocidad media de la red se ve muy mejorada en el caso del escenario con túnel (Escenario final o 2), por lo que, en cierta medida, se ve justificada la alta inversión y dificultad que supone la excavación y construcción de dicho túnel. Para evaluar de forma rigurosa habría que hacer un análisis coste beneficio que está fuera del alcance de este trabajo.
3. Los niveles de emisiones contaminantes son más altos en los nodos analizados con la implantación del tranvía (y más aún con el escenario sin túnel) que en la situación previa a la ampliación del tranvía. Aunque esto no significa que el nivel de contaminación de la red vaya a empeorar, ya que el análisis es llevado a cabo en los tres nuevos cruces, por imposibilidad del software a realizarlo en la red completa. De todos modos, la mayor parte de este aumento de nivel de emisiones se debe sin duda a la congestión y demoras producidas por el empeoramiento del transporte privado tras la introducción de un modo público que ocupa parte de su red. Análogamente a lo comentado anteriormente, se necesita, para que el balance final sea positivo desde el punto de vista medioambiental, un gran trasvase modal hacia el nuevo modo público. Este estudio es por tanto insuficiente para determinar la idoneidad o no de la puesta en marcha de la ampliación del tranvía, requiriendo otros análisis que no ha sido posible llevar a cabo debido las restricciones económicas y temporales de un trabajo académico como el presente.

En cuanto al uso de las simulaciones de tráfico para valorar propuestas y sus diferentes alternativas, se puede concluir que dichas aplicaciones proporcionan información muy valiosa con la que debería contarse antes de la toma de decisiones tan trascendentes, con un impacto tan elevado y duradero en la ciudad y en la forma de vivir en ella. Sin embargo, siguiendo la línea de los últimos comentarios, son solo una pieza más entre todas las herramientas de modelización que se requerirían para una correcta estimación de la situación futura. El éxito del análisis de costes/beneficios a realizar radica en la calidad de la prognosis de la demanda. Para asegurar un mínimo de calidad en dicha prognosis, se requeriría, además de una metodología rigurosa, un presupuesto considerable para la toma de datos (en su mayoría encuestas), que no dejaría de ser insignificante comparativamente con el total de la inversión requerida para la ejecución total del proyecto. En muchas ocasiones dichos estudios son menospreciados y no se llevan a cabo; en tales casos, la planificación de estas infraestructuras de transporte se asemeja más a una apuesta personal pagada con dinero público que a un proceso riguroso de toma de decisiones basada en criterios técnicos. En un caso en el que dicho proceso se lleva a cabo correctamente, dadas las estimaciones de los viajeros que usarán la nueva infraestructura y el porcentaje de usuarios de transporte privado que deciden abandonar su modo habitual, este trabajo sí ha mostrado la utilidad de las microsimulaciones de tráfico para analizar la nueva situación y evaluar el impacto medioambiental.

REFERENCIAS

- ANA S. AMENEIRO. (n.d.). *La obra del tranvía de Sevilla se retrasa por problemas con uno de los contratos*. Retrieved April 17, 2023, from https://www.diariodesevilla.es/sevilla/obra-tranvia-Sevilla-retrasa-problemas-contratos-Nervion-Espadas_0_1615339215.html
- ANA S. AMENEIRO. (2022). El tranvía evitará en Nervión 1,3 millones de desplazamientos en coche. *Diario de Sevilla*. https://www.diariodesevilla.es/la-catenaria/ampliacion-tranvia-Nervion-evitara-millones-desplazamientos-coche-arboles_0_1666333856.html
- El Ayuntamiento inicia la próxima semana las obras de la plataforma tranviaria y el corredor verde en el tramo Luis de Morales, diseña un plan especial de tráfico con rutas alternativas por el corte total de esta vía y comienza a liberar distintas calles interiores de la Avenida San Francisco Javier* — Actualidad. (n.d.). Retrieved June 20, 2023, from <https://www.sevilla.org/actualidad/noticias/2023/el-ayuntamiento-inicia-proxima-semana-obras-plataforma-tranviaria-corredor-verde-luis-de-morales-plan-especial-traffic-rutas-alternativas-por-el-corte-total-de-esta-via>
- Florencio, M. J. (Andalucía I. (n.d.). *El túnel de ampliación del tranvía no salva ninguna vía principal | Andalucía Información. Todas las noticias de Sevilla*. Retrieved April 11, 2023, from <https://andaluciainformacion.es/sevilla/905599/el-tunel-de-ampliacion-del-tranvia-no-salva-ninguna-via-principal/>
- Las obras de ampliación del tranvía empiezan el jueves. (n.d.). *EL CORREO*. Retrieved June 20, 2023, from <https://elcorreoweb.es/sevilla/las-obras-de-ampliacion-del-tranvia-empiezan-el-jueves-JX7770946>
- Mar Chacón. (n.d.). *Las obras de ampliación del tranvía arrancan el 9 de marzo, con cortes de tráfico en la avenida San Francisco Javier | Onda Cero Radio*. Retrieved June 20, 2023, from https://www.ondacero.es/emisoras/andalucia/sevilla/obras-ampliacion-tranvia-arrancan-9-marzo-cortes-traffic-avenida-san-francisco-javier_202203036220ba51447ec100015f8130.html
- PTV Group. (2022). *PTV Vissim 2022 User Manual*. 1378.
- R.S. (Diario De Sevilla). (n.d.). *La Red Sevilla por el Clima ve “un dispendio” el túnel del tranvía y pide aplazar la obra*. Retrieved April 11, 2023, from https://www.diariodesevilla.es/sevilla/ampliacion-tranvia-tunel-Sevilla-Red-Clima-dispendio_0_1437456784.html
- Respira Nervión* — *Respira Sevilla*. (n.d.). Retrieved June 20, 2023, from <https://www.sevilla.org/respira/respira-nervion>
- RUESGA, M. (2023). El estreno del tranvía hasta Nervión se retrasa a septiembre. *Diario de Sevilla*. https://www.diariodesevilla.es/sevilla/estreno-tranvia-Nervion-retrasa-septiembre_0_1763825486.html
- Sevilla, A. de. (n.d.). *Plan de Movilidad Urbana Sostenible del municipio de Sevilla PMUS Sevilla*.