



UNIVERSIDAD DE JAÉN  
*Centro de Estudios de Postgrado*

Trabajo Fin de Máster

# ANÁLISIS GEOMÁTICO DE LAS REDES DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MÁLAGA

**Alumno/a:** Luque Florido, Adrián.

**Tutor/a:** Prof. D. Manuel A. Ureña Cámara, Prof. D.  
Francisco J. Ariza López.

**Dpto:** Ingeniería Cartográfica, Geodésica y  
Fotogrametría.

**Marzo, 2021**

## **RESUMEN:**

Las redes de transporte intraurbanas son un elemento fundamental de comunicación. A veces, estas propias redes generan una serie de problemas debido a la densidad del tráfico creciente en las ciudades. Aspectos como la peatonalización o la disminución de la velocidad máxima de desplazamientos han tratado de abrir la ciudad a los peatones y reducir la contaminación. Sin embargo, muy pocos de los cambios en las redes de transporte son previamente analizados de forma sistemática mediante métodos de simulación y los resultados de estas modificaciones, en ocasiones, han obtenido los efectos contrarios a los deseados.

En este trabajo se propone la realización de simulaciones sobre diferentes escenarios de transporte en la ciudad de Málaga para ver los efectos de distintas modificaciones en la circulación como las anteriormente comentadas y otras que puedan ser de interés, con diferentes niveles de carga de vehículos, para ver cómo se pueden paliar o reducir los efectos negativos.

Además, se determinarán los tiempos de viaje y los niveles de contaminación promedios producidos por los desplazamientos con el fin de tratar de minimizar ese impacto.

**Palabras clave:** redes de transporte, tráfico, urbano, contaminación, simulación.

## **ABSTRACT:**

Intraurban transport networks are a fundamental element of communication. Sometimes, these networks generate problems due to the increasing traffic density in cities. Aspects as pedestrianization or the reduction of the maximum speed of travelling have tried to open the city to pedestrians and reduce the pollution. However, very few of the changes in the transport networks are previously analyzed in a systematic way through simulation methods and the results of these modifications, sometimes, have obtained the opposite effects to those desired.

This work proposes the realization of simulations on different transport scenarios in the city of Malaga to see the different changes in traffic such as mentioned above and others that may be of interest, with different levels of quantity of vehicles to see how the negative effects can be alleviated or reduced.

In addition, travel times and average levels of pollution produced by travels will be determined in order to minimize this impact.

**Keywords:** transport networks, traffic, urban, pollution, simulation.

## ÍNDICE GENERAL

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| 1. Introducción.....                        | pp. 6-7   |
| 1.1 Justificación del tema elegido.....     | pp. 6-7   |
| 1.2 Objetivos.....                          | p. 7      |
| 2. Antecedentes.....                        | pp. 8-19  |
| 2.1 Málaga.....                             | pp. 8-9   |
| 2.2 Problemática del tráfico urbano.....    | pp. 9-13  |
| 2.3 Programas de simulación de tráfico..... | pp. 13-19 |
| 3. Metodología.....                         | pp. 20-22 |
| 4. Análisis y Resultados.....               | pp. 23-44 |
| 4.1 Primer escenario.....                   | pp. 23-36 |
| 4.2 Segundo escenario.....                  | pp. 36-44 |
| 5. Conclusiones.....                        | p. 45     |
| 6. Bibliografía.....                        | pp. 46-48 |
| 7. Anexo Técnico.....                       | pp. 49-62 |
| 7.1 Primer escenario.....                   | pp. 49-58 |
| 7.2 Segundo escenario.....                  | pp. 59-62 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                            |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Localización de Málaga.....                                                                      | p.8  |
| Figura 2. Uso del automóvil por horas en Málaga.....                                                       | p.11 |
| Figura 3. Esquema metodológico de trabajo .....                                                            | p.20 |
| Figura 4. Simulación a los 1000 segundos.....                                                              | p.24 |
| Figura 5. Simulación a los 3000 segundos.....                                                              | p.24 |
| Figura 6. Simulación a los 5000 segundos.....                                                              | p.25 |
| Figura 7. Simulación a los 7000 segundos.....                                                              | p.25 |
| Figura 8. Parámetros de la simulación SUMO.....                                                            | p.26 |
| Figura 9. Simulación SUMO en Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán.....                    | p.27 |
| Figura 10. Street View de Google Maps en Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán.....        | p.28 |
| Figura 11. Simulación SUMO en Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340.....            | p.29 |
| Figura 12. Street View de Google Maps en Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340..... | p.29 |
| Figura 13. Simulación SUMO en Avenida Lope de Vega.....                                                    | p.30 |
| Figura 14. Street View de Google Maps en Avenida Lope de Vega.....                                         | p.30 |
| Figura 15. Simulación SUMO en Avenida Cánovas del Castillo.....                                            | p.31 |
| Figura 16. Street View de Google Maps en Avenida Cánovas del Castillo.....                                 | p.31 |
| Figura 17. Simulación SUMO en Avenida Juan Sebastián Elcano.....                                           | p.32 |
| Figura 18. Street View de Google Maps en Avenida Juan Sebastián Elcano.....                                | p.32 |
| Figura 19. Simulación SUMO en Paseo de Reding.....                                                         | p.33 |
| Figura 20. Street View de Google Maps en Paseo de Reding.....                                              | p.33 |
| Figura 21. Mapa de emisiones NOx en la ciudad de Málaga.....                                               | p.35 |
| Figura 22. Simulación a los 4000 segundos.....                                                             | p.37 |
| Figura 23. Simulación a los 8000 segundos.....                                                             | p.37 |
| Figura 24. Simulación a los 12000 segundos.....                                                            | p.38 |
| Figura 25. Simulación a los 15000 segundos.....                                                            | p.38 |
| Figura 26. Parámetros de la simulación a los 8500 segundos.....                                            | p.39 |

|                                                                                            |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figuras 27, 28 y 29. Simulación en la zona del Soho.....                                   | p.40 |
| Figura 30. Simulación en Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán..           | p.41 |
| Figura 31. Simulación en Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340..... | p.41 |
| Figura 32. Simulación en Paseo de Reding – Paseo del Parque.....                           | p.42 |
| Figura 33. Simulación en la Calle Francisco Fray Pimentel.....                             | p.43 |
| Figura 34. Street View de Open Street Maps en Calle Francisco Fray Pimentel.....           | p.43 |
| Figura 35. Mapa de emisiones NOx en la ciudad de Málaga.....                               | p.44 |
| Figura 36. Descarga red viaria OSM.....                                                    | p.49 |
| Figura 37. Edición mediante JOSM.....                                                      | p.50 |
| Figuras 38 y 39. Archivo mlg.net.xml.....                                                  | p.51 |
| Figura 40. Red de transporte final de trabajo mlg.net.xml.....                             | p.53 |
| Figura 41. Creación del archivo de tipo de vehículo.....                                   | p.53 |
| Figura 42. Generación del archivo de recorridos.....                                       | p.54 |
| Figura 43. Generación del archivo de rutas aleatorias.....                                 | p.56 |
| Figura 44. Archivo de configuración SUMO.....                                              | p.56 |
| Figura 45. Archivo adicional.xml.....                                                      | p.57 |
| Figura 46. Archivo de configuración SUMO modificado.....                                   | p.57 |
| Figura 47. Archivo de emisiones.xml.....                                                   | p.58 |
| Figura 48. Archivo rawdump.xml.....                                                        | p.58 |
| Figuras 49 y 50. Comparación entre zonas de Soho y Centro.....                             | p.59 |
| Figura 51. Archivo de tipo de vehículos.....                                               | p.60 |
| Figura 52. Archivo de configuración sumo (sumo.cfg).....                                   | p.61 |
| Figura 53. Archivo adicional de emisiones.....                                             | p.61 |
| Figura 54. Archivo de configuración SUMO modificado.....                                   | p.62 |

# 1. Introducción

## 1.1 Justificación

El tránsito urbano vehicular es uno de los temas que más concierne a las ciudades. Debido al progresivo aumento del uso del automóvil, fruto de factores socioeconómicos, las ciudades se encuentran constantemente “recorridas” por dichos vehículos, ya sea por fines profesionales, de ocio, culturales, turísticos, etc. Esto conlleva que sea importante contar con una red viaria bien planificada y en buen estado, además de con un sistema de equipamientos viarios bien implementados, como es el caso de los semáforos, de forma que permita una circulación coherente y fluida. Para ello, es importante el papel que juega la administración local, donde los profesionales que la integran, deben de velar porque dicha circulación sea lo más fluida posible, en base a diferentes fines:

- Ya que permite reducir los tiempos de desplazamiento, lo que permite un aumento de la productividad, del bienestar social, etc.
- Permitiendo reducir las emisiones de diferentes gases emitidos por los vehículos, lo que provoca una menor contaminación urbana, lo que a su vez repercute en un aumento del bienestar, una mejor salud de la población, una mayor atracción por parte de turistas, etc.

Es debido a toda esta serie de factores expuestos anteriormente, que he decidido realizar mi Trabajo fin de Máster (TFM) sobre el análisis geomático de las redes de transporte en la ciudad de Málaga, debido a que: es una ciudad en la que estoy en permanente contacto por motivos profesionales, culturales, de ocio, etc.; al ser una ciudad muy importante en el plano regional andaluz y nacional, es importante la búsqueda de una mejora en su tránsito urbano, que la permita ser más competitiva en la red de sistemas urbanos y la haga posicionarse como una ciudad “beta” en el transporte urbano; y, debido a la importancia de reducir la contaminación en la ciudad, causada por una polución constante que tiene marcadas consecuencias en la vida de los propios habitantes y de las personas que en ella confluyen debido al turismo, trabajo, etc.

Por último, es importante remarcar el papel de la ciudad de Málaga como referente en el ámbito Smart City en España, lo que va a suponer un fuerte aliciente para lograr dicha

mejora en la movilidad vehicular en la ciudad, y que a su vez, nos ayude a comprender con mayor exactitud todo el proceso llevado a cabo en la ciudad.

## **1.2 Objetivos**

El objetivo del presente Trabajo Fin de Máster (TFM) es la prueba de diferentes escenarios en la ciudad de Málaga basándonos en Diseños de Experimentos (DoE). En dichos escenarios se realizarán simulaciones de tráfico teniendo como base el software SUMO, con la finalidad de poder detectar problemas en el tránsito diario de la ciudad, como son los atascos o embotellamientos, y en base a ello poder desarrollar diferentes soluciones que nos permitan paliar dichos problemas.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Málaga

Málaga es una ciudad situada en el Sur de España, a orillas del mar Mediterráneo y en la denominada “Costa del Sol” (Figura 1), con una población de 574.654 habitantes en el año 2019 (INE), es la sexta ciudad más poblada del país y una de las ciudades españolas con un mayor ritmo de crecimiento de la población (Ayuntamiento de Málaga, 2017). Es por tanto de especial importancia incidir en este aspecto para nuestro estudio, ya que se trata de una ciudad de marcada importancia dentro del sistema urbano español, lo que significa una gran cantidad de población realizando desplazamientos vehiculares por la ciudad.

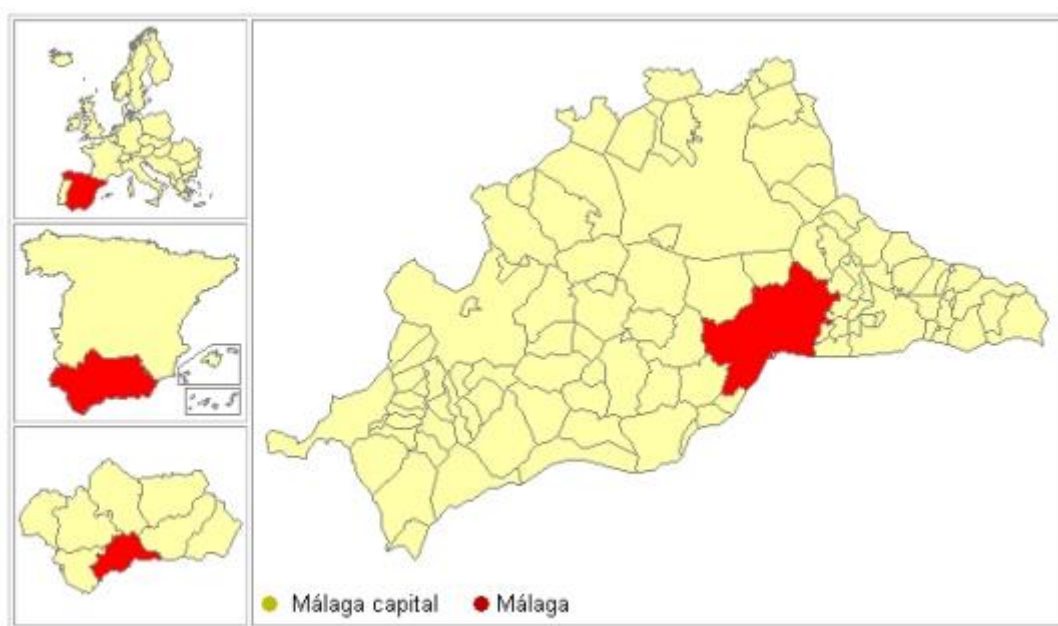


Figura 1. Localización de Málaga. Fte: PGOU de Málaga.

Su extensión municipal es de 398,25 km<sup>2</sup> (INE), lo que le otorga una densidad de población de 1443 hab/km<sup>2</sup>. En cuanto a su orografía, se trata de una ciudad relativamente llana, fruto de localizarse en la denominada “Hoya de Málaga”, que se encuentra constituida por las desembocaduras de los ríos Guadalhorce y Guadalmedina. Este hecho es de gran trascendencia, pues es favorable para el desarrollo la red viaria urbana que tan importante es para nuestro estudio de la ciudad.

Al Norte y Noreste de la ciudad se encuentran los Montes de Málaga, zona montañosa que abarca una gran extensión dentro del límite municipal; mientras que al Este de la ciudad se localiza el Valle del Guadalhorce, zona de gran importancia agrícola e hidrológica, y que supone un importante acceso a la ciudad. La ciudad de Málaga, por tanto, se encuentra desarrollada longitudinalmente a lo largo de un eje Este-Oeste.

En cuanto a la actividad económica, el sector servicios es el sector predominante en la ciudad, representando el 73% del PIB de la economía malagueña en el año 2019 (INE), lo que va a explicar en gran medida, los desplazamientos que realizan los trabajadores de este sector, las personas que consumen productos y servicios de este sector, el transporte de productos, etc.

En cuanto a las comunicaciones, cuenta con una localización geoestratégica importante, logrando posicionarse como uno de los centros de comunicaciones y transportes más importantes del país. Málaga cuenta con una importante red de carreteras, se encuentra circunvalada por las rondas Este y Oeste, lo que le permite una mejora en la fluidez de tránsito en el acceso a la ciudad. Las principales vías de acceso más importantes son las A-7 o Autovía del Mediterráneo, permitiendo la entrada o salida de la ciudad por su zona Este o Suroeste; la A-357 que permite el acceso desde el Valle del Guadalhorce; y la A-45 o Autovía de Málaga, que permite un acceso desde el Norte a través del Puerto de las Pedrizas. Además, hay que destacar el Aeropuerto de Málaga, que se posiciona en el tercero de España con mayor número de pasajeros (Ayuntamiento de Málaga, 2017) lo que supone un importante punto de acceso de turistas hacia la propia ciudad y hacia toda la Costa del Sol. También hay que destacar el puerto de Málaga, que se consolida como el segundo puerto peninsular en número de cruceros.

En cuanto a la flota automovilística, la ciudad de Málaga contaba en el año 2014 con un índice de motorización de 462 turismos por cada 1000 habitantes (Ayuntamiento de Málaga, 2015), lo que la sitúa como una de las ciudades con mayor tasa de España. En el caso de Málaga, también es de especial relevancia, la flota de motocicletas, teniendo la segunda mayor proporción en base al total de vehículos de España, solo superada por Barcelona, ocupando un 13% del total de vehículos motorizados. Estas cifras, nos proporcionan una visión de cuán importante es la flota automovilística en la ciudad, lo que indudablemente repercute en un mayor tránsito urbano de automóviles.

## **2.2 Problemática del tráfico urbano.**

A la hora de abarcar el estudio de una ciudad, surgen problemas de diferente índole. En cuanto la estudiamos desde el punto de vista geomático de las redes de transporte, una de las principales problemáticas que se observa es la congestión de tráfico rodado que se produce en las ciudades. Dicha congestión la observamos en ciudades con una alta tasa de densidad de automóviles privados, donde dicho automóvil se sitúa como uno de los principales modeladores de la ciudad, ya que se va a tener en cuenta para el desarrollo de nuevas vías de comunicación, en la señalización, en la reserva de zonas de aparcamiento, etc. (López y González, 1996).

Es importante tener en cuenta el hecho de que aunque un aumento de la población urbana parezca que se encuentra intrínsecamente ligado a una mayor movilidad, no siempre es así, si no que se debe a un nuevo desarrollo económico, a un aumento de la flota de automóviles, a la caída del precio del automóvil de segunda mano, la carencia relativa del transporte público, la infraocupación de los vehículos, a nuevas pautas sociales de comportamiento, a un cambio en las estructuras demográficas, etc. (López y González, 1996) (Lizarraga, 2006). Las ciudades se encuentran, en muchos casos, ante situaciones de intensificación para las que no se hallaban preparadas, sobre todo, en las zonas más antiguas de la ciudad o zonas próximas a ellas (Sánchez, 1977).

Podemos destacar además, que dicha movilidad no es homogénea a lo largo del día, si no que tiene unos mayores niveles en horas puntuales, como es en las ocho horas centrales del día, destacando la hora de comienzo y finalización de la jornada laboral (Metz, 2018) (Figura 2). En el caso específico de la ciudad de Málaga, dicha movilidad viene destacada, además, por una mayor densificación en determinadas zonas o barrios, conllevando una mayor congestión en los mismos (López y González, 1996).



Figura 2. Uso del automóvil por horas en Málaga. Fte: PEMUS.

También, cobran especial importancia los movimientos desde ciudades dormitorio hacia la ciudad principal, lo que permite afirmar que el uso de vehículos privados aumenta a medida que nos alejamos de las zonas céntricas de la ciudad (Muñoz, 2004). Este crecimiento territorial disperso desarrollado a través de los últimos años, también ha propiciado una dispersión de los equipamientos y servicios, a lo que se le une una mejora de las infraestructuras destinadas al tráfico por carretera (Ayuntamiento de Málaga, 2015).

Los problemas derivados de dicha congestión son variados:

- Un mayor número de accidentes, derivados de un mayor número de desplazamientos (Metz, 2018). Lo que a su vez vuelve a repercutir en un mayor número de embotellamientos o atascos. Estos accidentes a veces provocan mortalidad o discapacidad provocada por lesiones (Tapia, 1998).
- Un incremento en los costes operativos derivados del uso del vehículo privado (Lizarraga, 2006).
- Un incremento de personas que llegan tarde a su lugar de destino (Lizarraga, 2006).
- Un aumento de los niveles de polución urbana, debido a la emisión de gases de efecto invernadero por parte de la flota de vehículos en funcionamiento (Metz, 2018). Numerosos estudios han constatado que los vehículos rodados, son la principal causa de contaminación en las ciudades (York y Rouleau, 2017). Esta contaminación repercute en la calidad de vida y la salud de las personas, por lo que en los últimos años, hay un creciente preocupación por desarrollar vehículos y tecnologías menos contaminantes (York y Rouleau, 2017) (Tapia, 1998).

Intentar paliar dicha congestión urbana, no es una tarea sencilla, ya que se encuentran implicados una gran cantidad de parámetros (Carballo et al. 2019). No obstante, surgen diferentes soluciones: en primer lugar, podemos destacar el papel que juegan las administraciones públicas a la hora de fomentar el uso del transporte público (bus, metro o tranvía) en detrimento del vehículo privado; la aparición de plataformas como BlaBlacar o Amovens, que permiten un uso compartido de vehículos; desarrollo de vehículos menos contaminantes; medidas de reducción de tránsito basadas en la alternancia de circulación por vías, un ejemplo de ello es el caso de Madrid Central; expandir la capacidad de las vías; la tarificación por congestión, etc.

Aunque todas ellas son medidas novedosas, la modificación de la duración de los ciclos de tiempo de los semáforos, sea quizás una de las mejores opciones sin costo, en base a ello se han realizado diferentes estudios que muestran una mejora del tránsito realizando ligeras modificaciones en el tiempo (Carballo et al. 2019).

En los últimos años, el término de movilidad urbana sostenible está adquiriendo mayor importancia. Dicha movilidad, debe definirse en función de la existencia de un sistema y una serie de patrones capaces de proporcionar los medios y oportunidades para cubrir las necesidades económicas, ambientales y sociales, de forma eficiente y equitativa (Lizarraga, 2006).

En el caso de la ciudad de Málaga, es de especial importancia el Plan Málaga Smart: Plan Estratégico de Innovación Tecnológica 2018-2022. La importancia de dicho Plan radica en la mejora de la movilidad urbana, mediante una serie de objetivos: la búsqueda de una optimización de los desplazamientos, la promoción del uso racional del vehículo privado, la priorización de y mejora de modos no motorizados (peatonal y ciclista), la priorización del transporte público, disminución del consumo energético, disminución del impacto ambiental y el aumento de la seguridad vial. (Ayuntamiento de Málaga, 2017).

Además, un hecho importante es que se ha trabajado con la movilidad de vehículos eléctricos en un proyecto de gran importancia en el panorama nacional, con la finalidad de testar dichos vehículos en la ciudad y observar su comportamiento, patrones, etc.

La modernización de la infraestructura de la gestión de tráfico y de los aparcamientos ha sido también muy importante en la ciudad (Ayuntamiento de Málaga, 2017).

Otro Plan en la ciudad, que también atañe a nuestro estudio, es el Plan Especial de Movilidad Urbana Sostenible (Ayuntamiento de Málaga, 2015), según dicho Plan, los niveles ambientales de la ciudad provocados por una contaminación atmosférica continua, son preocupantes, e insostenibles de cara al futuro, de forma que hay que intentar reducir dichos niveles mediante diferentes medidas sostenibles. Además, de este tipo de contaminación, surgen otras derivadas del uso continuo del automóvil como es la contaminación acústica provocada por el tránsito, repercutiendo en serios problemas medioambientales; problemas de salud en las personas, mediante el aumento de los niveles de estrés, ansiedad, falta de concentración, etc. Un efecto derivado del desarrollo de grandes infraestructuras de transporte, es el llamado efecto “barrera”, que supone la fragmentación de la ciudad y por tanto la reducción de la movilidad de las personas a pie.

### **2.3 Programas de simulación de tráfico.**

Con el objetivo de reducir la congestión urbana debido al tránsito vehicular, es importante trabajar con programas o aplicaciones que permitan lograrlo de una forma intuitiva y fiable. Hay diferentes programas o herramientas destinadas a ello, muchas de ellas integradas dentro de los propios programas de Sistemas de Información Geográfica (GIS). No obstante, encontramos diferentes programas que nos permiten realizar simulaciones del tránsito urbano con las que posteriormente poder realizar los estudios o análisis pertinentes, algunos de estos son Transyt-7f y Tsis-Corsim.

Transyt-7f es un programa informático estadounidense desarrollado por el centro McTrans Center de la Universidad de Florida, lanzando en el año 2010. El programa permite realizar optimizaciones en la realización de simulaciones de tráfico, utilizando para ello, la dispersión macroscópica con la finalidad de simular el tráfico de una la red de transporte (Penic y Upchurch, 1992). El programa genera perfiles de flujo de vehículos segundo a segundo en todos los enlaces de red durante su proceso de optimización (Ratrouy y Reza, 2014). También permite realizar otras simulaciones como el consumo de combustible de los vehículos y las emisiones de gases de efecto invernadero, etc.

Las capacidades con las que cuenta el programa, basándonos en la información del fabricante (<https://mctrans.ce.ufl.edu/featured/TRANSYT-7F/>) son las siguientes:

- Simulación detallada de condiciones existentes.
- Optimización de múltiples períodos, optimización de ascenso de colinas.
- Análisis carril por carril, análisis de control accionado.
- Optimización CORSIM directa, posprocesamiento CORSIM.
- Animación CORSIM de un toque, análisis HCS de un toque.
- Optimización basada en una amplia variedad de funciones objetivas.
- Flexibilidad total para modelar configuraciones de carriles inusuales y planes de cronometraje.
- Simulación explícita de la dispersión del pelotón y el desbordamiento de la cola.
- Flexibilidad total en el modelado de unidades métricas e inglesas, conducción por la derecha y por la izquierda.
- Optimización del algoritmo genético de la duración del ciclo, secuencia de fases, divisiones y compensaciones.

Es importante resaltar, que es un programa un poco desfasado, por lo que ha sido ampliamente superado en el tiempo por otros programas más innovadores y eficaces, como es el caso de SUMO.

Tsis-Corsim fue desarrollado también por el McTrans Center de la Universidad de Florida, y lanzado en el año 2012. Es un programa informático para realizar micro simulaciones con la finalidad de testar diferentes planificaciones de evacuaciones de acuerdo con la optimización de la sincronización de la señal, además de para evaluar la preferencia de los vehículos de emergencia en caso de evacuación (Zhao et al, 2016). Corsim, incluye dos modelos de procesamiento: NETSIM, que representa el tráfico en las calles de la ciudad, y FRESIM, que representa el tráfico en carreteras y autopistas de una forma microscópica (Bloomberg y Dale, 2000). Mientras que Tsis, que es el entorno de software, permite al usuario realizar análisis de operaciones de tráfico,

además de definir redes de tráfico y crear entradas para los análisis, ejecución de diferentes modelos de simulación e interpretación de dichos resultados.

Según la página web del fabricante (<https://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis/>), el programa cuenta con una gran cantidad de capacidades, que son las siguientes:

- Verificación y validación de otro software.
- Sustituto para la recopilación de datos de campo.
- Presentación y demostración pública.
- Intercambios de autopistas y calles de superficie.
- Coordinación y sincronización de señales.
- Intercambios divergentes de diamantes (DDI).
- Estudios de impacto del tráfico de uso del suelo y estudios de gestión de acceso.
- Vehículos de emergencia y anticipación de señales.
- Secciones de tejido de autopistas, adiciones de carriles y bajadas de carriles.
- Estaciones de autobuses, rutas de autobuses, viajes compartidos y taxis.
- Medición de rampa y carriles HOV.
- Carriles de peaje de alta ocupación (HOT).
- Intersecciones no señalizadas y órdenes de señalización.
- Carreteras de dos carriles con zonas para adelantar y no adelantar.
- Detección y gestión de incidencias.
- Estudios de colas que implican giros y bloqueo de colas.
- Plazas de peaje y estaciones de pesaje de camiones.
- Patrones de flujo de tráfico de origen-destino.
- Asignación de tráfico para calles superficiales.
- Postprocesamiento de salida estadística.

- Control de cruce adaptativo.
- Extensión de tiempo de ejecución (RTE) para investigadores.
- Simulación de volante a la derecha o volante a la izquierda.

Por último, cabe resaltar que ambos programas (Tsis-Corsim y Transyt-7f), se distribuyen en la actualidad como un producto combinado, por lo que cuentan con una gran interoperabilidad.

Como se ha observado con anterioridad, encontramos diferentes programas de simulación de tráfico. No obstante, aunque bien cuentan con la capacidad de realizar simulaciones, se encuentran un poco desfasados y no son muy intuitivos. Ante ello, encontramos un programa llamado SUMO, que nos permite trabajar de una forma rápida, segura e intuitiva, obteniendo unos resultados bastante fiables. Es por ello, que se ha seleccionado este programa para la realización del trabajo.

El nombre de SUMO deriva de Simulation Of Urban Mobility. Es una plataforma para la simulación de flujos de tráfico en un tiempo determinado, de forma abierta. Cabe destacar que las simulaciones y modelados han adquirido a lo largo del tiempo un gran reconocimiento, suponiendo un método efectivo de aproximación a la cuantificación las operaciones de tráfico y los procesos que se dan en él (Zaky et al., 2017).

Su desarrollo comenzó en el año 2001, con una primera versión en el año 2002. Al comienzo su desarrollo era muy simple, pero con el paso de los años el programa ha mejorado considerablemente, permitiendo actualmente importar diferentes redes de transporte en diferentes formatos, con una gran cantidad de fuentes (Krajzewicz et al. 2012). Además, encontramos una gran cantidad de artículos que se centran en el uso de SUMO para realizar simulaciones, lo que es gran utilidad para nuestro trabajo (Zaky et al. 2017). Destacar también, que ha sido utilizado en importantes proyectos tanto de escala nacional como internacional.

Al inicio, fue desarrollado por el Centro de Aplicaciones Informáticas de Colonia y el Instituto de Sistemas de Transportes del Centro Aeroespacial Alemán; no obstante, desde el 2004, fue el Instituto de Sistemas de Transportes, el que continuó su desarrollo (Barceló, 2010). Uno de los principales objetivos de este Instituto, fue comparar y evaluar diferentes modelos y algoritmos relacionados con el tratamiento del tráfico, por

lo que la idea inicial fue desarrollar un libre simulador de tráfico que fuera portable, de forma que se pudiera desarrollar en cualquier entorno (Linux, Solaris y Windows) y que fuera extensible, de forma que la simulación fuera abierta y fácil de entender por distintos usuarios (Barceló, 2010).

Las redes de transporte de dicha plataforma, están compuestas por nodos, intersecciones y carreteras. Estas carreteras conectan con los nodos y contienen un determinado número de carriles. Las carreteras contienen información acerca de la geometría, la clase de vehículos permitidos y la velocidad máxima permitida, que varía según las zonas de la ciudad y la legislación vigente en el país que se trate (Krajzewicz et al. 2012).

Es importante recalcar, que el programa no funciona de una forma global o general, si no que lo hace de una forma microscópica, ya que le proporciona a cada vehículo una determinada funcionalidad y características, de esta forma, los resultados que obtendremos serán bastante precisos y acordes con nuestros objetivos.

Cada vehículo, puede tener asignado diferentes parámetros, como el color, la anchura, su velocidad máxima, etc. Además, circularán por rutas determinadas, marcadas por un punto de inicio del trayecto y de final (Krajzewicz et al. 2012).

La plataforma, cuenta con una gran cantidad de herramientas de trabajo, algunas de ellas son de gran utilidad para el desarrollo del trabajo, son las siguientes:

#### *NetConvert*

El primer lugar, se puede destacar Netconvert, que es la principal herramienta para importar nuestra red viaria desde diferentes fuentes, como por ejemplo, Visum, Tiger, ArcView shapefiles, Vissim u Open Street Map. Dicha importación, supone la conversión de una red viaria digital a una nativa-sumo en formato .xml, que describe la red de transporte en términos de nodos, carreteras y conexiones de carriles entre ellas (Barceló, 2010).

Esta conversión se realiza mediante la computación acerca de la dirección de las diferentes vías, la conexión entre ellas, los tipos de intersecciones y la prioridad en ellas.

Además, también se determina las posiciones de los semáforos y su programación, lo cual juega un papel muy importante a la hora de realizar la simulación (Barceló, 2010).

### *NetEdit*

NetEdit es una herramienta que permite editar la red viaria previamente importada mediante NetConvert. Aunque se utiliza principalmente como herramienta de edición, también se puede utilizar para la creación de redes desde el inicio.

NetEdit, es por tanto un editor gráfico, que se basa en NetConvert, permitiéndonos realizar cualquier acción que realice este último. Gracias a esta herramienta podemos corregir diferentes errores de edición (Eclipse, 2015).

NetEdit tiene diferentes modos de edición, los cuales son utilizados para mejorar la red viaria.

### *RandomTrips*

RandomTrips es una aplicación python que se encuentra dentro del paquete del programa. Su importancia radica en que permite generar una serie de viajes aleatorios dentro la red que estemos trabajando. La forma de trabajar de dicha aplicación es eligiendo un origen para el trayecto y un final o destino. El archivo resultante se almacena en formato .xml (Eclipse, 2015).

### *Duarouter*

Duarouter calcula las rutas de los vehículos que pueden ser usadas por SUMO, de forma que proporciona la ruta más óptima. El propósito de esta herramienta es la construcción de rutas de vehículos a partir de definiciones de demanda, calcular rutas mediante la asignación de usuario y la reparación de los problemas de conectividad en archivos de rutas existentes. El archivo de salida es un archivo rou.xml (Eclipse, 2015)

### *Mpl\_dump\_onNet.py*

Es una herramienta de representación de datos de una forma visual o gráfica, la importancia para nuestro estudio radica en que vamos a poder representar las emisiones de gases contaminantes como NO<sub>x</sub> o CO<sub>2</sub> de los diferentes vehículos que circulan por nuestra red viaria en la ciudad de Málaga. Dicha representación se puede realizar de una forma total o completa, o bien de forma fragmentada. Esta simulación de factores medioambientales están basados en el modelo HBEFA (Carballo et al., 2019).

### 3. Metodología

En cuanto al método empleado, éste se sustenta en la realización de diferentes procesos como se ilustra en el siguiente esquema: (Figura 3).

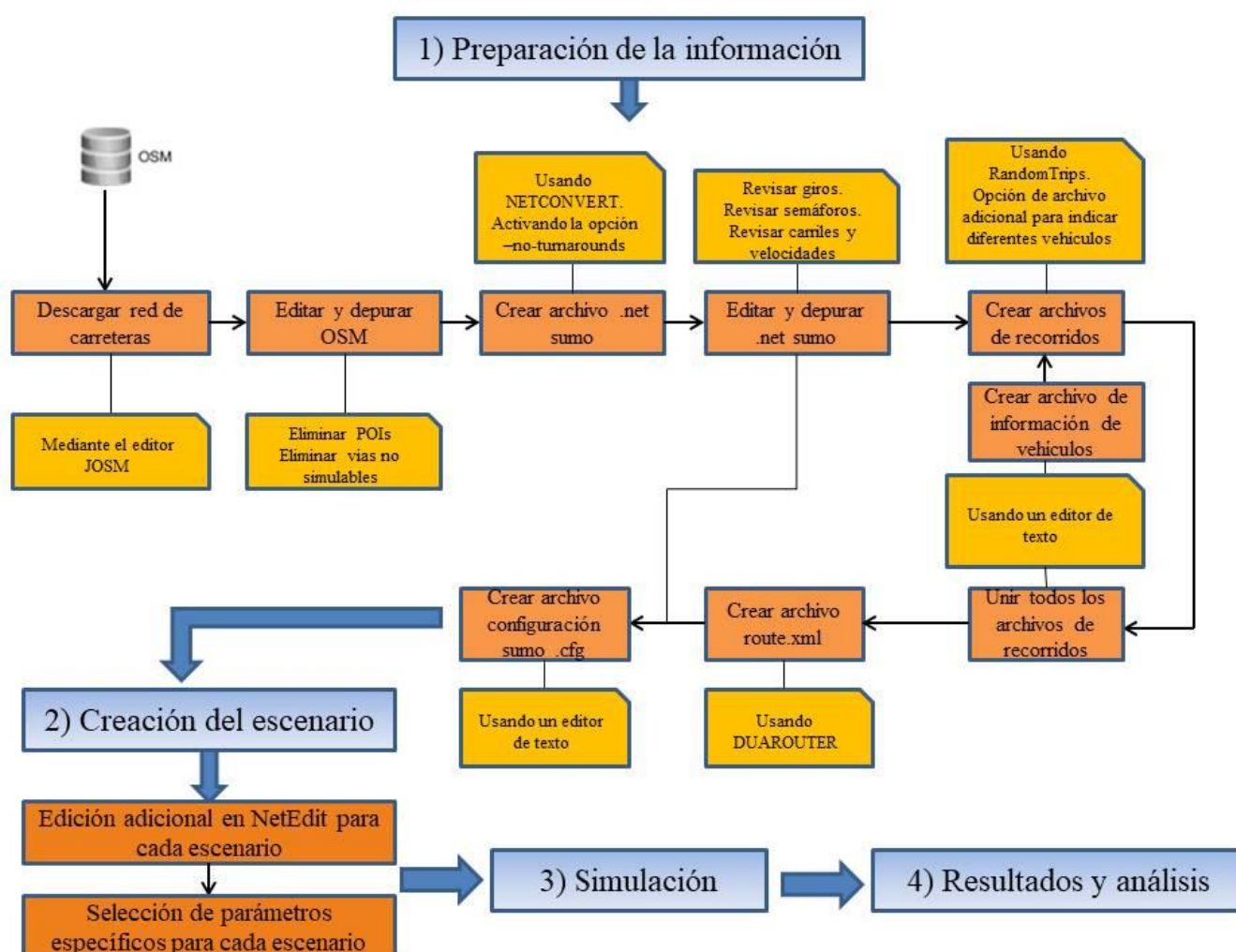


Figura 3. Esquema metodológico de trabajo. Fte: Elaboración propia.

El primer paso es la preparación de la información. Todo este proceso detallado se ha desarrollado en un Anexo Técnico que se encuentra al final del trabajo (ver *Anexo Técnico*). De forma general, se ha partido con la obtención de la red viaria de la ciudad de Málaga a través de Open Street Map (OSM), y su posterior depuración con la eliminación de aquellas vías por las que no pueden circular vehículos.

Posteriormente, a través de las herramientas que nos ofrece el programa SUMO, dicha red viaria es convertida a otra con formato (.net.xml), para que pueda ser leída por el programa. Una vez obtenida, se ha inspeccionado la red viaria con la finalidad de encontrar discrepancias con la realidad, como calles inexistentes, giros extraños, ciclos

de semáforo, etc. Para ello ha sido de gran utilidad contar con la ayuda de Google Maps, tanto en su función de mapa satelital como en la de Street View, lo que nos ha permitido comparar nuestra red viaria de trabajo con el estado actual de la red viaria de la ciudad.

Una vez que tenemos la red viaria definitiva de trabajo, el paso posterior es crear el tipo de vehículo que circulará por ella a la hora de realizar la simulación, y también el establecimiento de una serie de rutas aleatorias para dichos vehículos. Para ello, al igual que anteriormente se han utilizado diferentes herramientas que nos ofrece el programa, a partir de su ejecución mediante el símbolo del sistema (cmd de Windows).

El siguiente paso es la creación de un archivo de configuración (sumo.cfg), que es el archivo que introducimos en SUMO-GUI para realizar la simulación, por lo tanto tiene que tener unos parámetros correctos, con la finalidad de que nuestra simulación se realice con éxito. Adicionalmente a este archivo de configuración, se crea otro archivo donde se encontrará la información referida a la emisión de gases por los vehículos en la ciudad. Una vez creado se modifica nuevamente el archivo de configuración y se hace alusión a dicho archivo de contaminación para que al ejecutar la simulación nos genere dos archivos en formato .xml con información acerca de la emisión de gases.

Por último, mediante las herramientas python que nos proporciona el programa y mediante el símbolo del sistema, ejecutamos el código con la información referida a la contaminación, para que se nos muestre dicha información en forma de mapa, el cual a posteriori, mejoramos con un programa de Sistemas de Información Geográfica (GIS).

En segundo lugar, una vez preparada toda la información, se ha procedido a crear los diferentes escenarios. Algunos de estos escenarios han sido sobre los que finalmente se ha trabajado, mientras que otros se han descartado debido a que no ofrecían unos resultados relevantes y eran difícilmente asimilables en la realidad. En algunos de ellos, se pretendió, hipotéticamente, peatonalizar una zona de la ciudad, aunque al ser zonas en las que el tráfico rodado era de vital importancia debido a diferentes factores (comercio, transporte, etc.) suponía un gran escollo para poder llevarlo a cabo y obtener unos resultados interesantes. Finalmente, los escenarios que se han escogido son los siguientes:

- Un primer escenario, en el que se trabajará sobre la propia red de transportes de la ciudad de Málaga, esto incluye todas las vías de comunicación sobre la que puedan

circular vehículos y la eliminación de aquellas vías por la cual no puedan circular. En este primer escenario por tanto, no se realiza ningún tipo de modificación significativa, sólo pequeñas modificaciones en intersecciones, ciclos de semáforo, unión de vías, eliminación de aquellas erróneas, etc. (para más información ver *Anexo Técnico*). La elección de este primer escenario, es importante, ya que nos ofrece una visión general de cómo se distribuye el tráfico por la ciudad. De esta forma, se puede identificar las zonas de mayor y menor tránsito, las intersecciones y vías donde tienen lugar atascos significativos, etc. También, podemos obtener un mapa de los niveles de contaminación de Óxido de Nitrógeno (NOx) en base al tránsito vehicular por la ciudad, y determinar, en base a ello, zonas de mayor o menor contaminación.

- Un segundo escenario, en el cual, al igual que el primero, se trabajará con la red viaria de la ciudad de Málaga, aunque en este caso, sí que se realizarán modificaciones, mediante la peatonalización de algunas calles, con la finalidad de observar si tales modificaciones suponen una cierta descongestión de tráfico en la zona. Estas modificaciones están basadas en Diseños de Experimentos (DoE). La zona en la que se realizarán las modificaciones corresponde a la zona del Soho de Málaga, la cual es una de las zonas que se encuentran en auge en la ciudad, debido a un proceso de modernización y vanguardismo; y, algunas calles del Centro de Málaga, la cuales se unirían a otras muchas peatonales, como es el caso de Calle Larios. Se ha elegido esta zona concreta, ya que al ser una zona con un fuerte tránsito de personas, se busca la peatonalización de sus calles, con la finalidad de que las personas que vayan a pie tengan una mayor libertad de movimiento, y además, de mayor importancia para nuestro trabajo, observar si permite una mejora en el tránsito urbano en la zona adyacente, ya que la zona céntrica es una de las zonas más transitadas de la ciudad. Cabe destacar además, que en este segundo escenario se han modificado algunos parámetros de la simulación, como la adición de un mayor número de vehículos o algunas pautas de comportamiento de vehículos (para más información ver *Anexo Técnico*).

Posteriormente, con la información obtenida tras realizar los pasos uno y dos, se procede a realizar la simulación en SUMO, y en base ella, se obtienen unos resultados que nos permiten establecer diferentes análisis.

## **4. Análisis y Resultados.**

En el presente apartado se expondrán los resultados obtenidos a través del proceso metodológico llevado a cabo anteriormente. También, se procederá a la realización de un análisis a partir de dichos resultados. Tanto los resultados, como el análisis, se mostrarán de forma individual para cada uno de los escenarios seleccionados:

### **4.1 Primer escenario**

En este primer escenario, se tiene en cuenta toda la red viaria de la ciudad de Málaga. A lo largo de la ejecución de la simulación mediante el software Sumo-Gui, se han realizado diferentes capturas de la simulación, con la finalidad de observar en qué estado se encuentra el tráfico en un tiempo concreto de la simulación. Es por ello, que se han realizado capturas cada 2000 segundos, a partir de la primera a los 1000 segundos (Figuras 4, 5, 6 y 7). Estos desplazamientos se llevan a cabo a lo largo del tiempo máximo de simulación que se estableció en el archivo de configuración en 9000 segundos. A través de cada una de las capturas se puede observar como los diferentes vehículos (representados en color amarillo) se desplazan a lo largo de toda la ciudad siguiendo las rutas preestablecidas y con las características previamente establecidas. Podemos observar, de forma general, una circulación fluida y una mayor concentración de vehículos en torno a las zonas o barrios más céntricos de la ciudad, y una menor concentración a medida que nos alejamos de estas zonas hacia zonas periféricas.

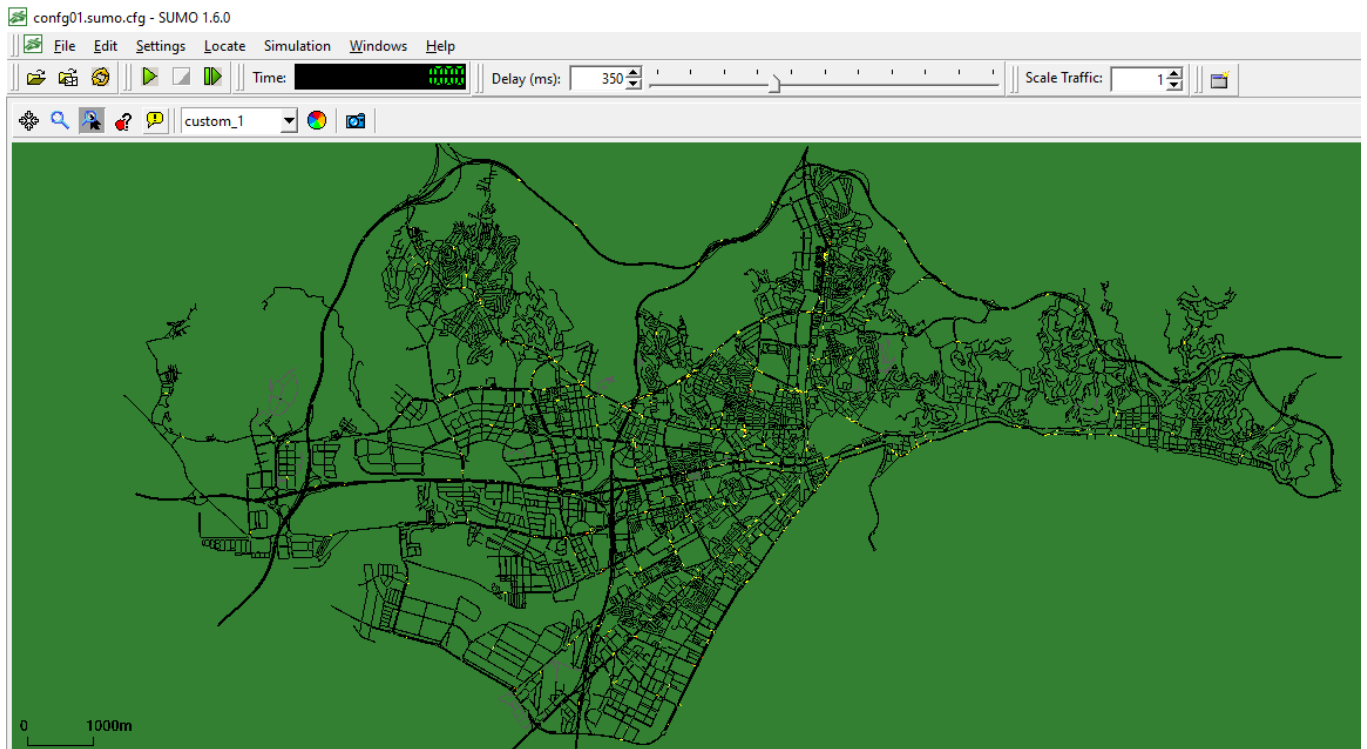


Figura 4. Simulación a los 1000 segundos. Fte: Elaboración propia.

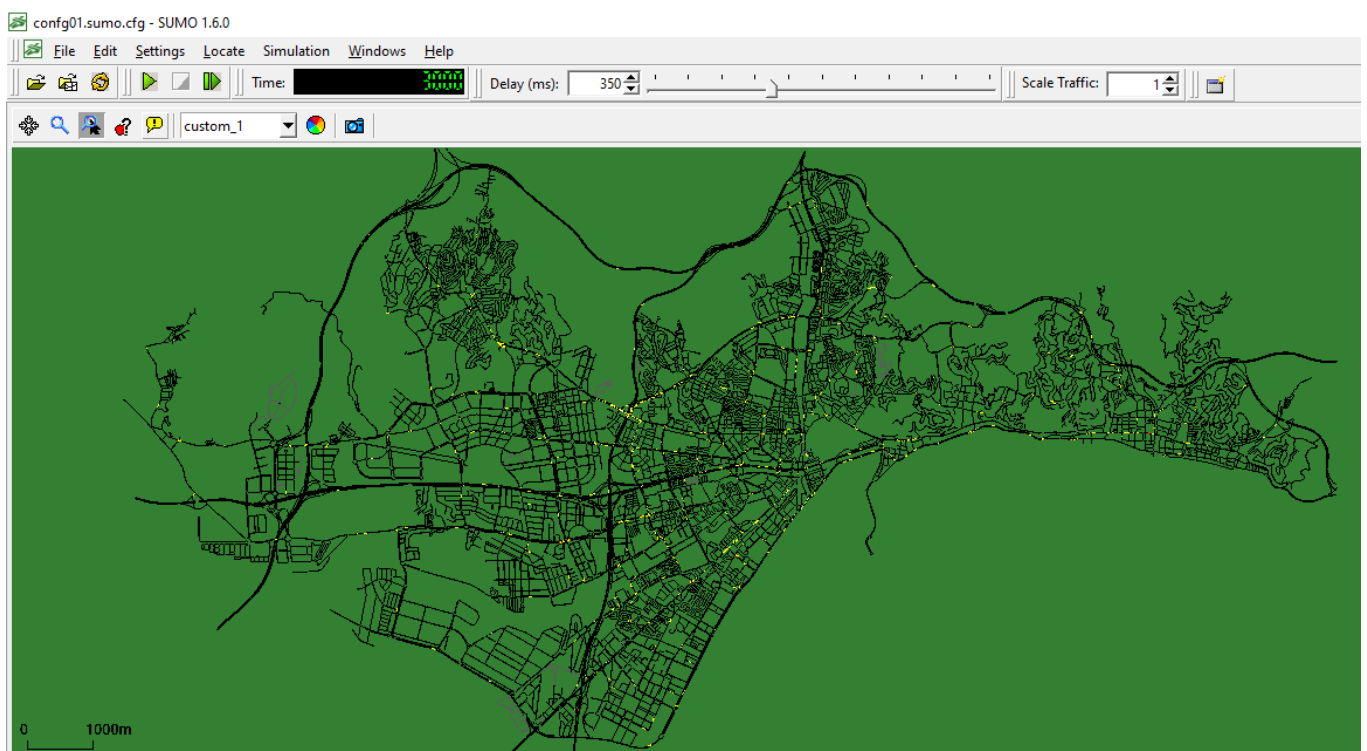


Figura 5. Simulación a los 3000 segundos. Fte: Elaboración propia.

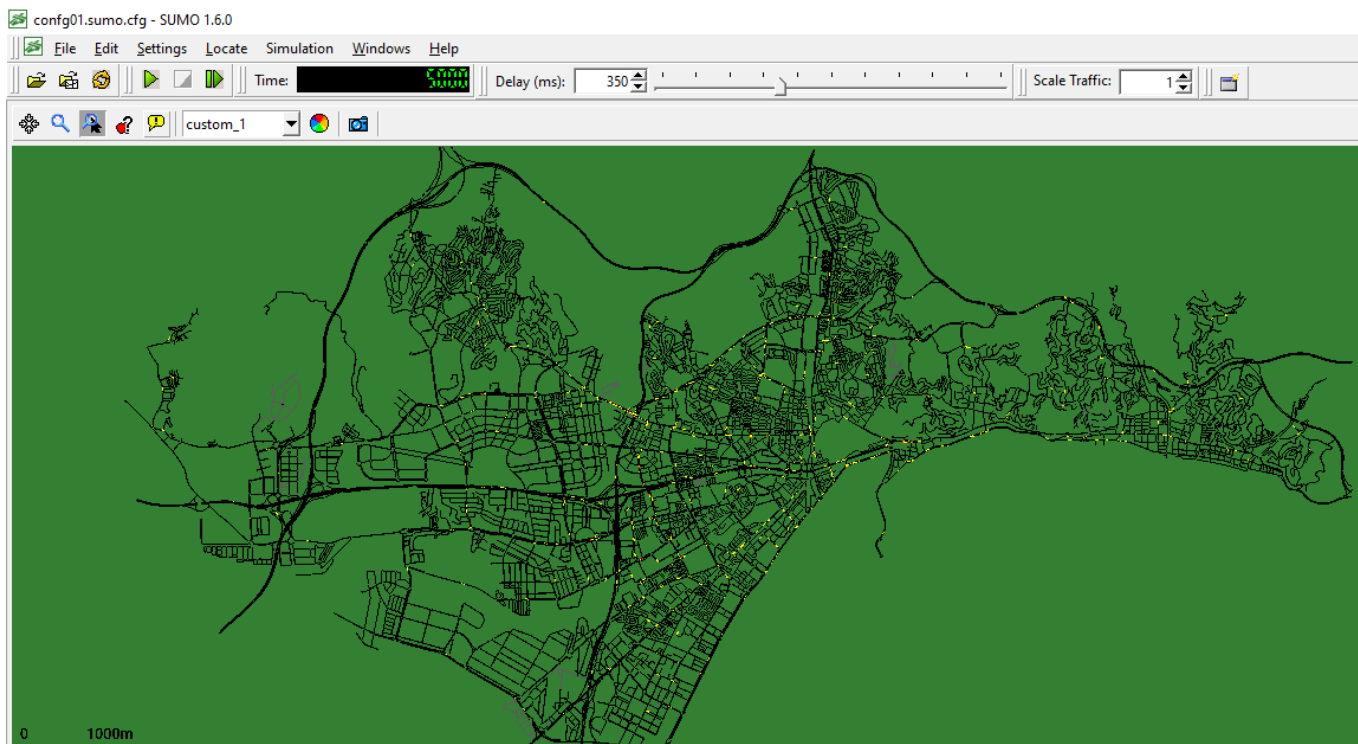


Figura 6. Simulación a los 5000 segundos. Fte: Elaboración propia.

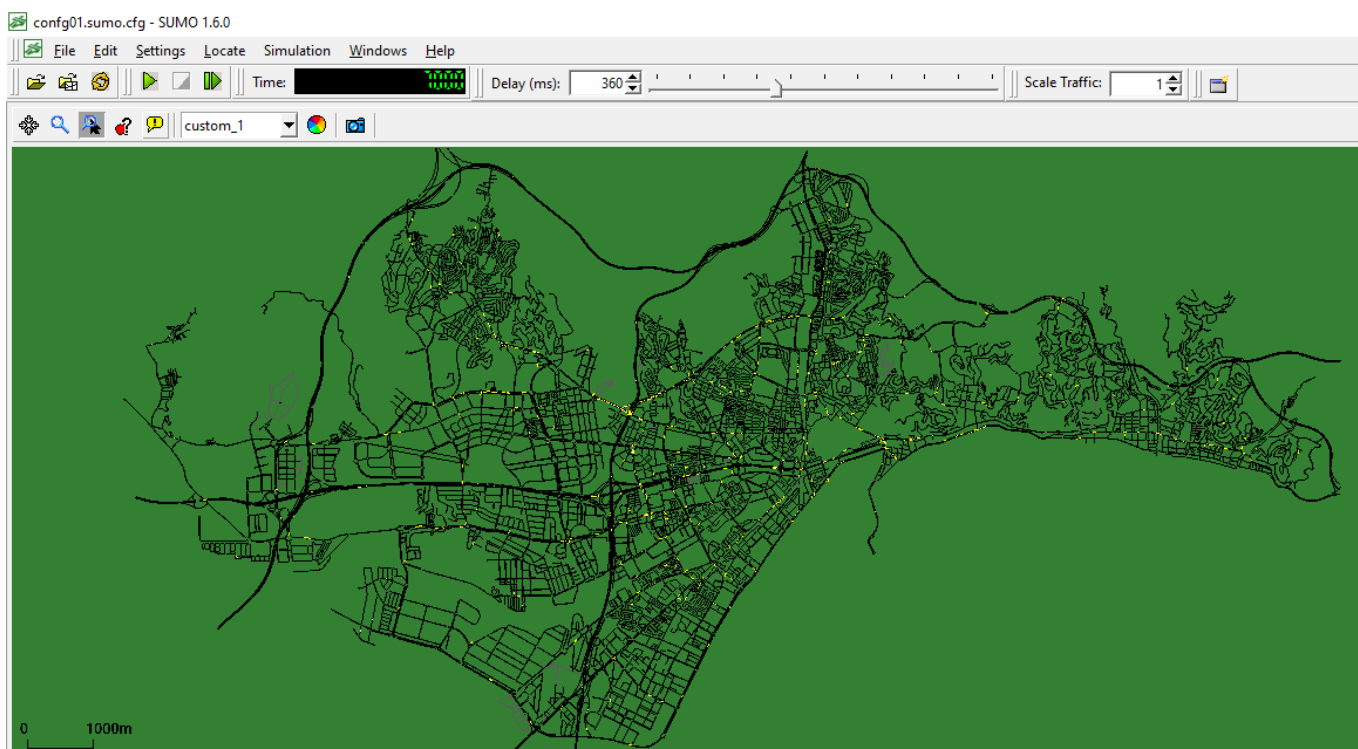
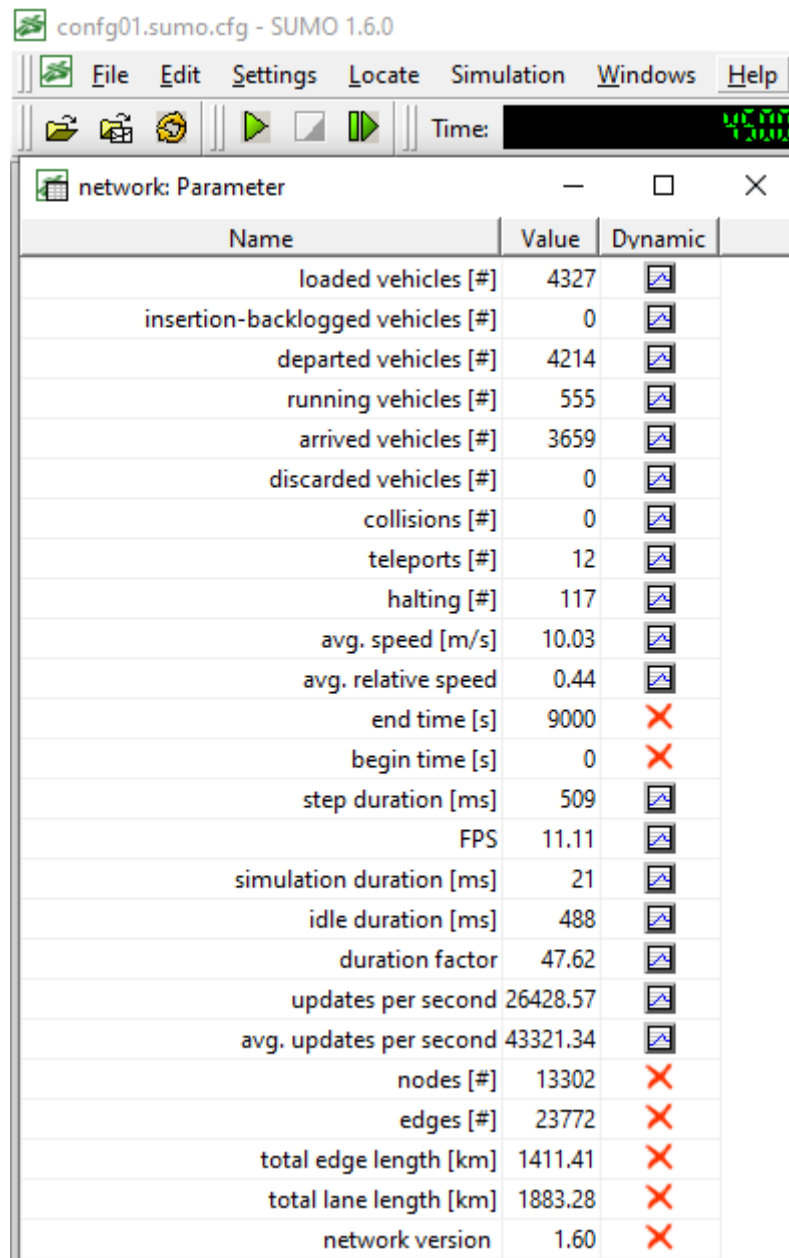


Figura 7. Simulación a los 7000 segundos. Fte: Elaboración propia.

El programa también muestra una serie de parámetros de la simulación, que nos permite obtener distinta información detallada acerca de los parámetros de la simulación. La captura de dichos parámetros se ha llevado a cabo en el ecuador de la simulación (4500 segundos), con la finalidad de obtener la información más precisa posible, ya que si los tomamos por ejemplo, al inicio o al final de la simulación, perderíamos fiabilidad en los datos. Los parámetros son los siguientes (Figura 8):



| Name                              | Value    | Dynamic |
|-----------------------------------|----------|---------|
| loaded vehicles [#]               | 4327     |         |
| insertion-backlogged vehicles [#] | 0        |         |
| departed vehicles [#]             | 4214     |         |
| running vehicles [#]              | 555      |         |
| arrived vehicles [#]              | 3659     |         |
| discarded vehicles [#]            | 0        |         |
| collisions [#]                    | 0        |         |
| teleports [#]                     | 12       |         |
| halting [#]                       | 117      |         |
| avg. speed [m/s]                  | 10.03    |         |
| avg. relative speed               | 0.44     |         |
| end time [s]                      | 9000     | ✗       |
| begin time [s]                    | 0        | ✗       |
| step duration [ms]                | 509      |         |
| FPS                               | 11.11    |         |
| simulation duration [ms]          | 21       |         |
| idle duration [ms]                | 488      |         |
| duration factor                   | 47.62    |         |
| updates per second                | 26428.57 |         |
| avg. updates per second           | 43321.34 |         |
| nodes [#]                         | 13302    | ✗       |
| edges [#]                         | 23772    | ✗       |
| total edge length [km]            | 1411.41  | ✗       |
| total lane length [km]            | 1883.28  | ✗       |
| network version                   | 1.60     | ✗       |

Figura 8. Parámetros de la simulación SUMO. Fte: Elaboración propia.

Podemos observar como la cantidad de vehículos en ese tiempo de simulación es de 4327, lo que es algo más de la mitad que cargamos al inicio de la simulación (7500).

También se pueden observar otros detalles, como la inexistencia de colisiones entre vehículos, o una velocidad media de 10 m/s (36 km/h), lo que es una velocidad considerable en ciudad. Además, se observa la cantidad total de nodos e intersecciones cargados para la simulación, o el total de kilómetros de vías de la red viaria.

Aunque con la simulación se ha obtenido una visión general del tráfico en Málaga, si descendemos en escala, se pueden observar una mayor concentración de vehículos en distintos puntos de la ciudad, en algunos de estos puntos llegan a suponer ciertos atascos o embotellamientos, por lo que es importante prestarles atención mediante un enfoque más detallado. Con la finalidad de mejorar el diagnóstico de dichas zonas, se ha contado además con la ayuda de Google Maps con su función Street View, que nos permite obtener una visión realista de cómo se comporta el tráfico en la zona. Las zonas o puntos a destacar, son los siguientes:

- Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán (Figuras 9 y 10). Zona de acceso desde el Noroeste de la ciudad, hacia zonas más céntricas. En esta zona, podemos apreciar una congestión, fruto de una intersección muy enrevesada y de ser una zona bastante concurrida, a ello se le une la existencia de diferentes semáforos que provocan que la movilidad sea más pausada.

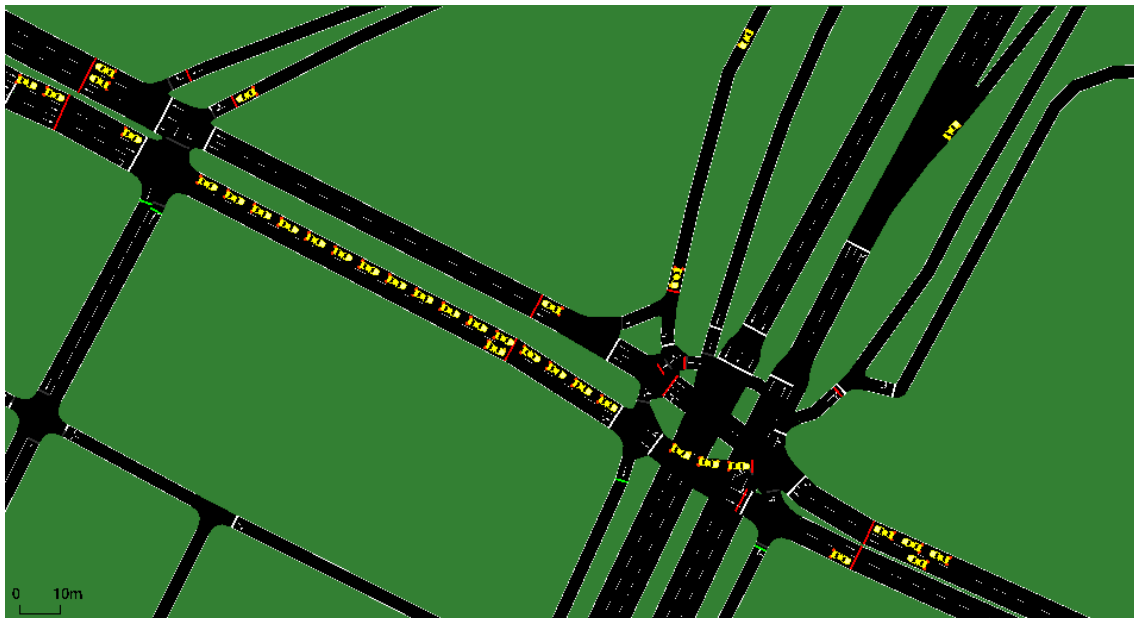


Figura 9. Simulación SUMO en Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán. Fte: Elaboración propia.



Figura 10. Street View de Google Maps en Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán. Fte: Google Maps.

- Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340 (Figuras 11 y 12). Zona de paso entre el centro de la ciudad y el sector Este, por lo que el tránsito suele ser continuo. Nos encontramos en un punto en el que el paso de la vía principal, hacia otra provoca un cierto nivel de congestión, apoyado en la existencia de semáforos que regulan el giro en este cruce.

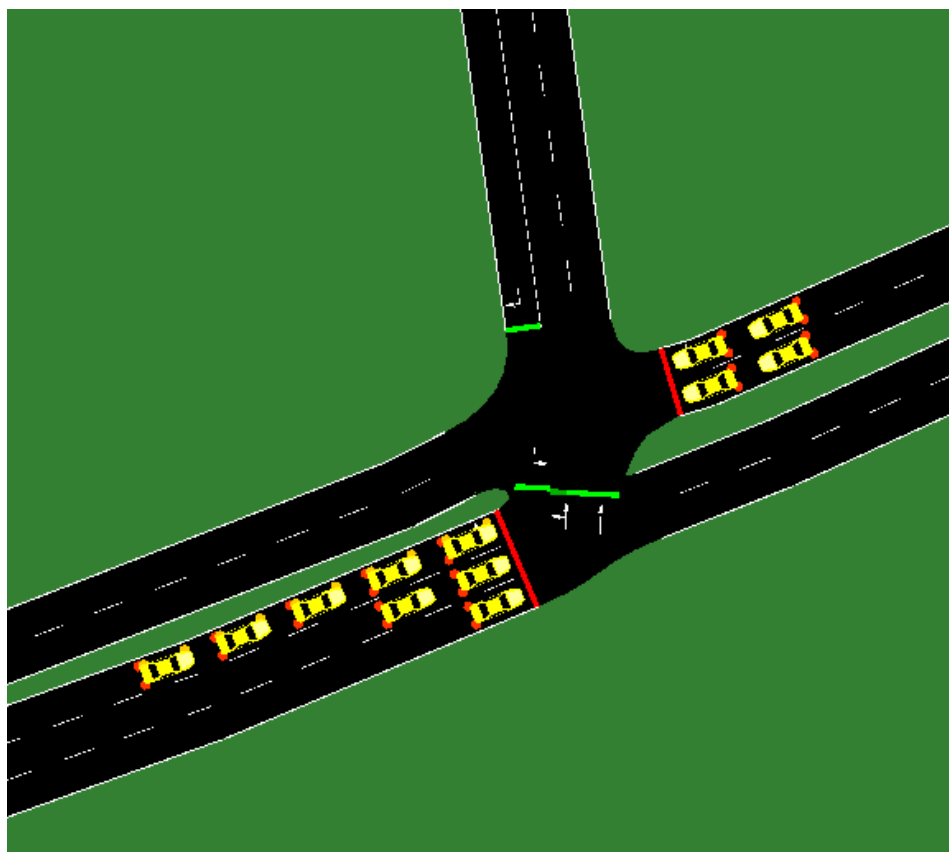


Figura 11. Simulación SUMO en Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340. Fte: Elaboración propia.



Figura 12. Street View de Google Maps en Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340. Fte: Google Maps.

- Avenida Lope de Vega. (Figuras 13 y 14). Zona de acceso y salida del Puerto de la Torre, barrio periférico de la ciudad. En este punto, la glorieta partida provoca un cierto nivel de atasco, sobre todo a la salida de dicho barrio hacia la ciudad propiamente dicha.

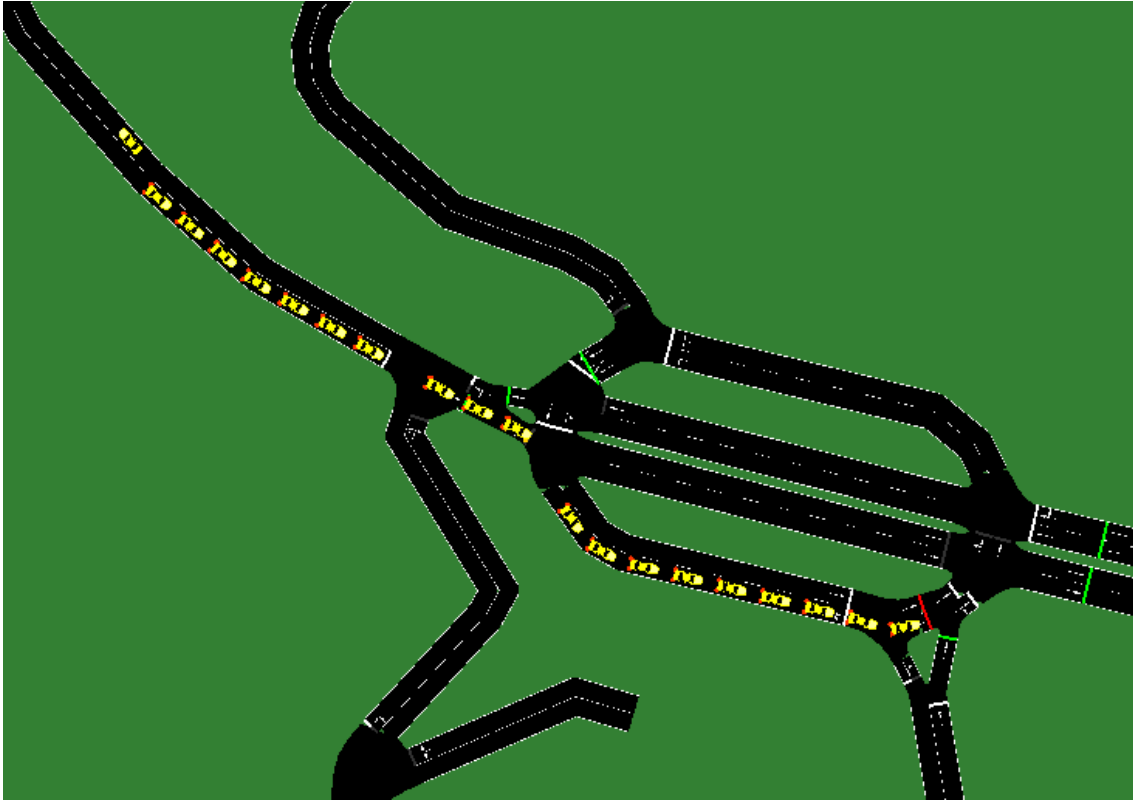


Figura 13. Simulación SUMO en Avenida Lope de Vega. Fte: Elaboración propia



Figura 14. Street View de Google Maps en Avenida Lope de Vega. Fte: Google Maps.

- Avenida Cánovas del Castillo (Figuras 15 y 16). Es una zona de bastante tránsito, ya que nos encontramos en una zona bastante céntrica. Además, es una zona de paso desde el paseo marítimo hacia el centro urbano, por lo que suele haber bastantes atascos, sobre todo en horas punta debido al desplazamiento por motivos laborales.

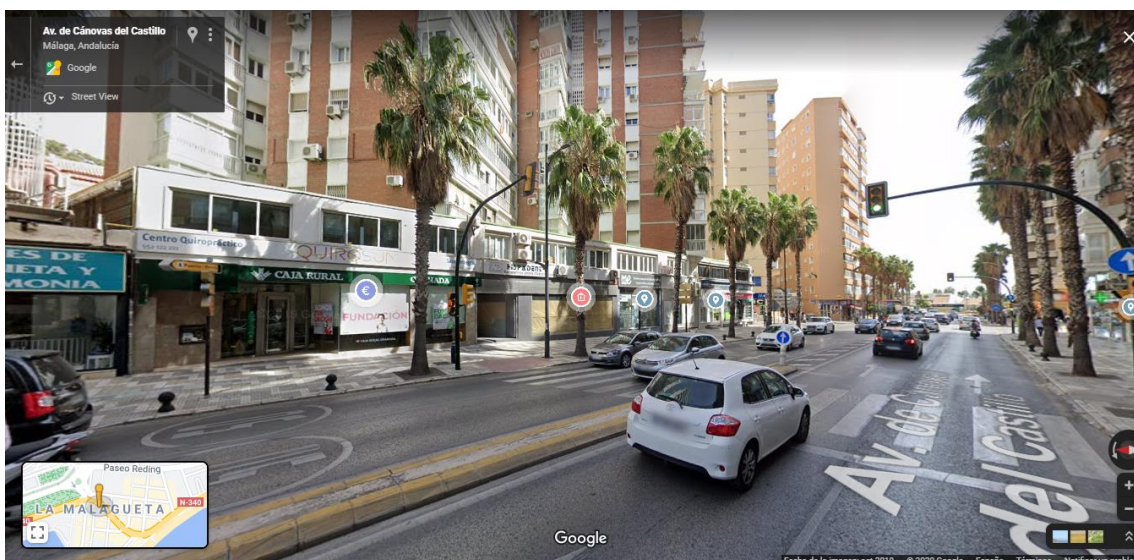
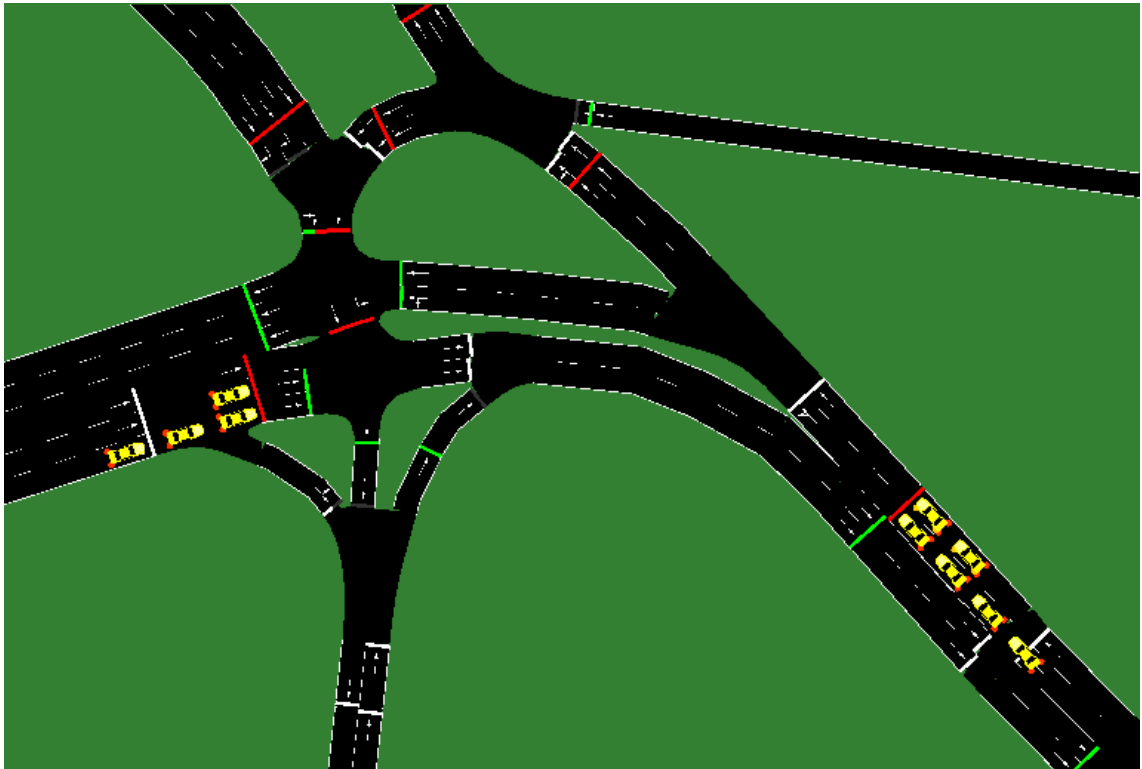


Figura 15. Simulación SUMO en Avenida Cánovas del Castillo. Fte: Elaboración propia

Figura 16. Street View de Google Maps en Avenida Cánovas del Castillo. Fte: Google Maps

- Avenida Juan Sebastián Elcano (Figuras 17 y 18). Es un cruce en el que suelen darse ciertos atascos, debido a que es una zona muy concurrida desde los diferentes frentes. Nos encontramos diferentes semáforos que regulan el tránsito, pero que a veces tenemos que esperar en “rojo” incluso en más de una ocasión.

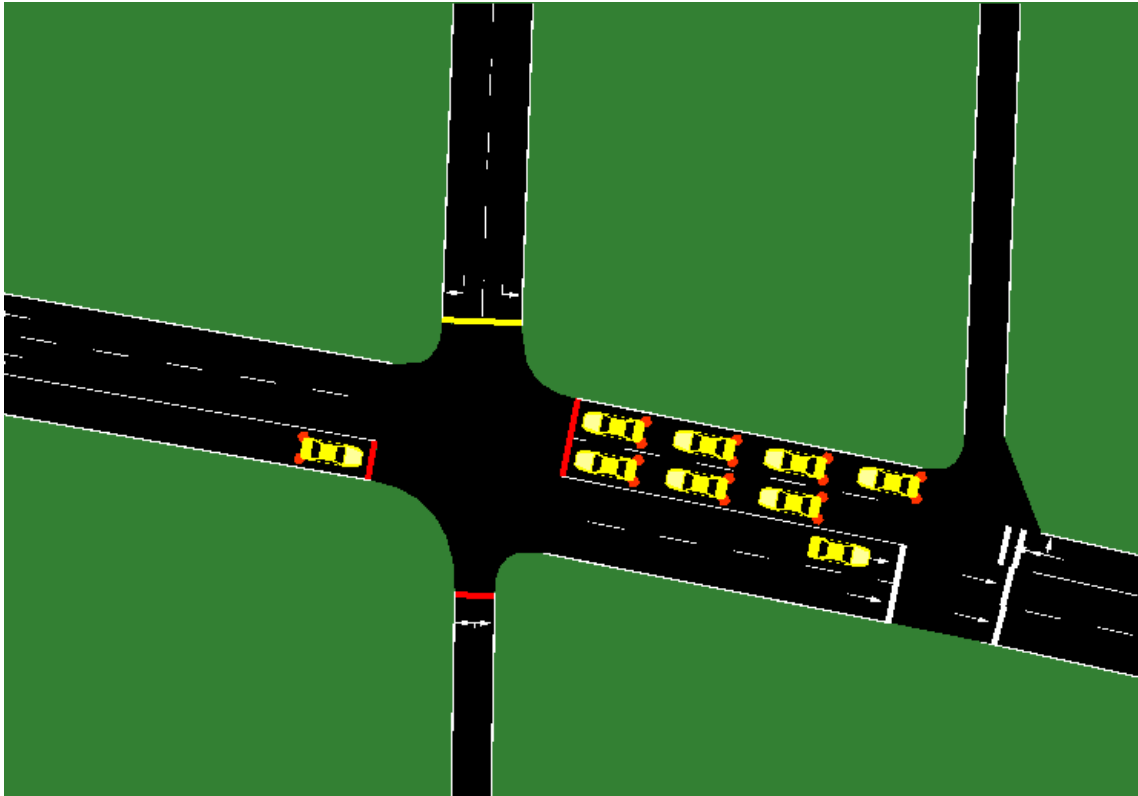


Figura 17. Simulación SUMO en Avenida Juan Sebastián Elcano. Fte: Elaboración propia.



Figura 18. Street View de Open Street Maps en Avenida Juan Sebastián Elcano. Fte: Google Maps.

- Paseo de Reding (Figuras 19 y 20). Zona de salida del centro urbano hacia el Este o hacia el Paseo del Parque, es por ello que suele ser muy transitada y por lo tanto se genera un cierto nivel de congestión, sobre todo en horas punta.

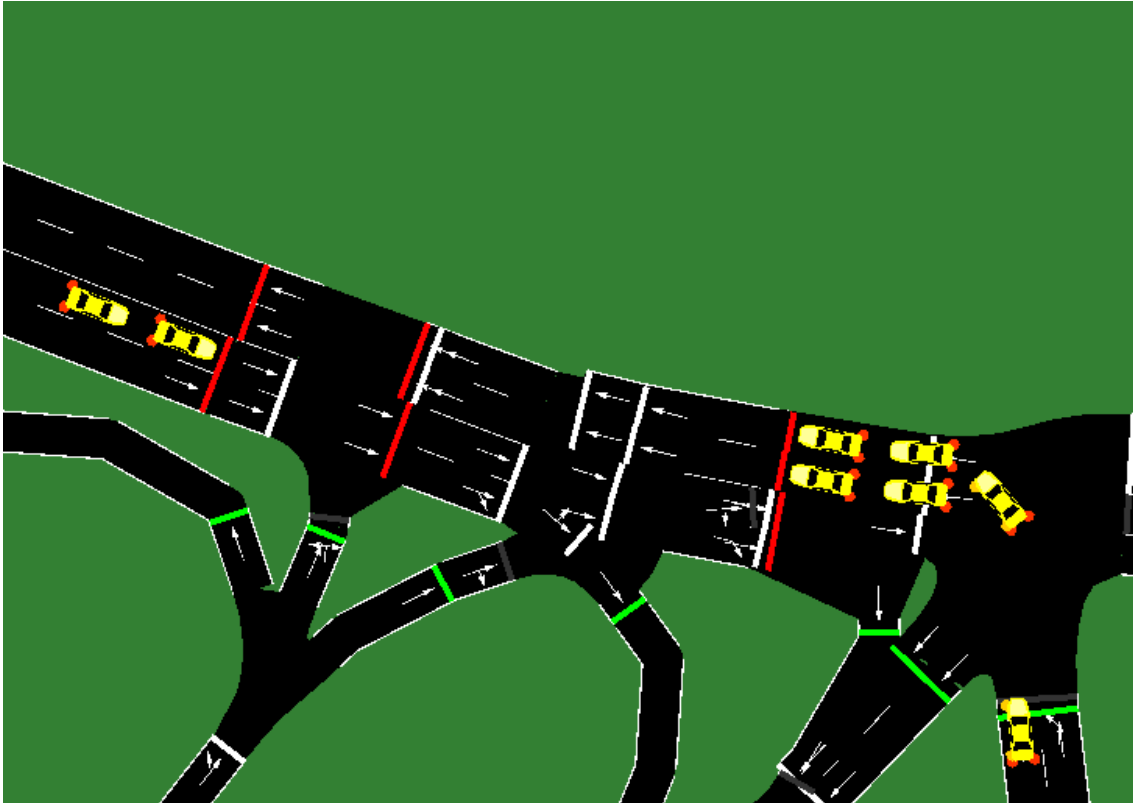


Figura 19. Simulación SUMO en Paseo de Reding. Fte: Elaboración propia.

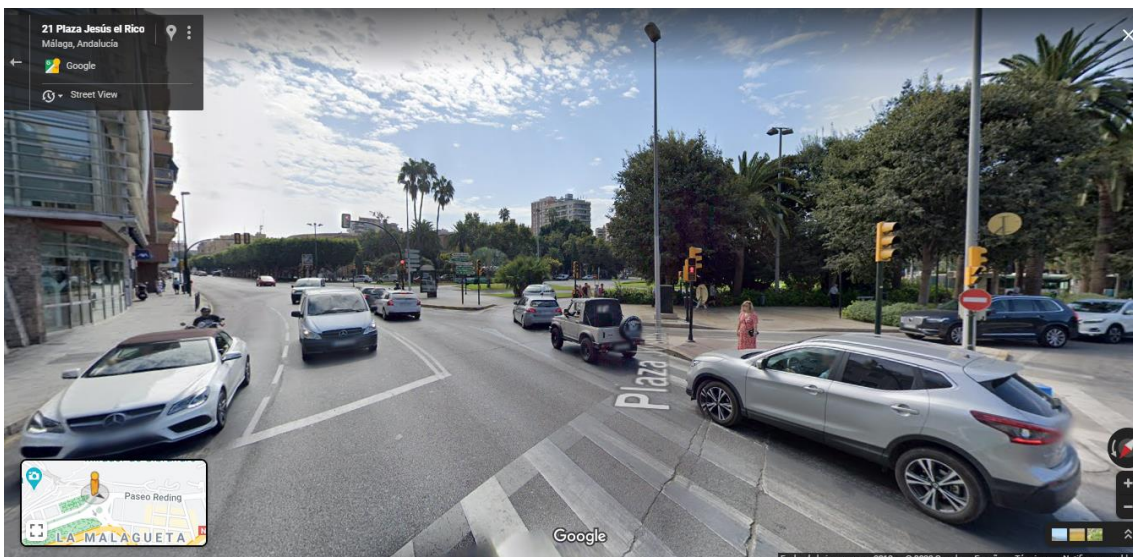


Figura 20. Street View de Open Street Maps en Paseo de Reding. Fte: Elaboración propia.

En las zonas anteriormente expuestas, se ha observado un tráfico superior al que ofrecen otras zonas de la ciudad, que se encuentran más desahogadas. En algunos casos podemos apreciar pequeños atascos o embotellamientos, algunos de estos se deben a que son zonas de gran tránsito de vehículos, propiciados por ser zonas estratégicas de entrada o salida de zonas más concurridas o “interiores” hacia zonas más periféricas de la ciudad; no obstante, en otros casos pueden ser debidos a una mala planificación al gestionar el tráfico rodado por las vías de comunicación o de no tener unos ciclos óptimos en los semáforos que permitan que el tránsito sea más fluido, aunque hay otros.

Es por ello, que con la finalidad de obtener un tránsito más ordenado y fluido, es de especial importancia, estudiar diferentes soluciones como son: la realización de pruebas en los semáforos cambiando el tiempo en los ciclos de los mismos, con la finalidad de obtener el mejor el ciclo en los semáforos de mayor importancia y que regulen un mayor tráfico, en vez de tener ciclos por defecto para muchos ellos y por lo tanto siendo improductivos en la búsqueda de una mejor ordenación del tráfico; realizar estudios de viabilidad de construcción de nuevas infraestructuras, es otra solución que habría que estudiar ya que si se construyen nuevas infraestructuras, siempre y cuando sea posible, descongestionaría algunas zonas, teniendo un tráfico más fluido; mejora del estado de las vías existentes, ya que algunas vías se encuentran deterioradas, y esto puede repercutir en una circulación más lenta sobre las mismas, lo que puede conllevar ciertos atascos; o, peatonalizando calles en zonas que así lo permitan, ya que disminuiría en tráfico en esas zonas y también indudablemente la polución en esas zonas.

Es importante destacar, que en los últimos días se están realizando experimentos en la ciudad de Málaga, de limitar la circulación de vehículos a 30 km/h en el carril derecho en aquellas vías con dos o más sentidos de circulación y que no dispongan de una zona reservada, con la finalidad de fomentar el uso de la bicicleta y de los patinetes eléctricos (Diario Sur, 2021). También en zonas como el paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso, se ha experimentado con el corte de un carril de la carretera, para destinarlo al tránsito de bicicletas y patinetes eléctricos. Aunque con estas medidas se pretende fomentar el uso de la bicicleta y patinete frente a los vehículos privados, lo realmente cierto es que provocan unos mayores atascos de marcada importancia en la ciudad, lo que es contraproducente para nuestro estudio. En cualquier caso, en el supuesto de consolidarse dichas medidas de cara al futuro, sería conveniente estudiar con mayor profundidad la movilidad en el futuro.

Por último, basándonos en la contaminación en la ciudad de Málaga generada por el tránsito de vehículos, mediante el programa SUMO, se ha generado un mapa de emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) (Figura 21), que es uno de los principales y más perjudiciales gases que expulsan los vehículos y afectan a la calidad del aire en la ciudad. En base a este mapa podemos diferenciar que zonas sufren una mayor contaminación debido al tránsito, frente al resto.

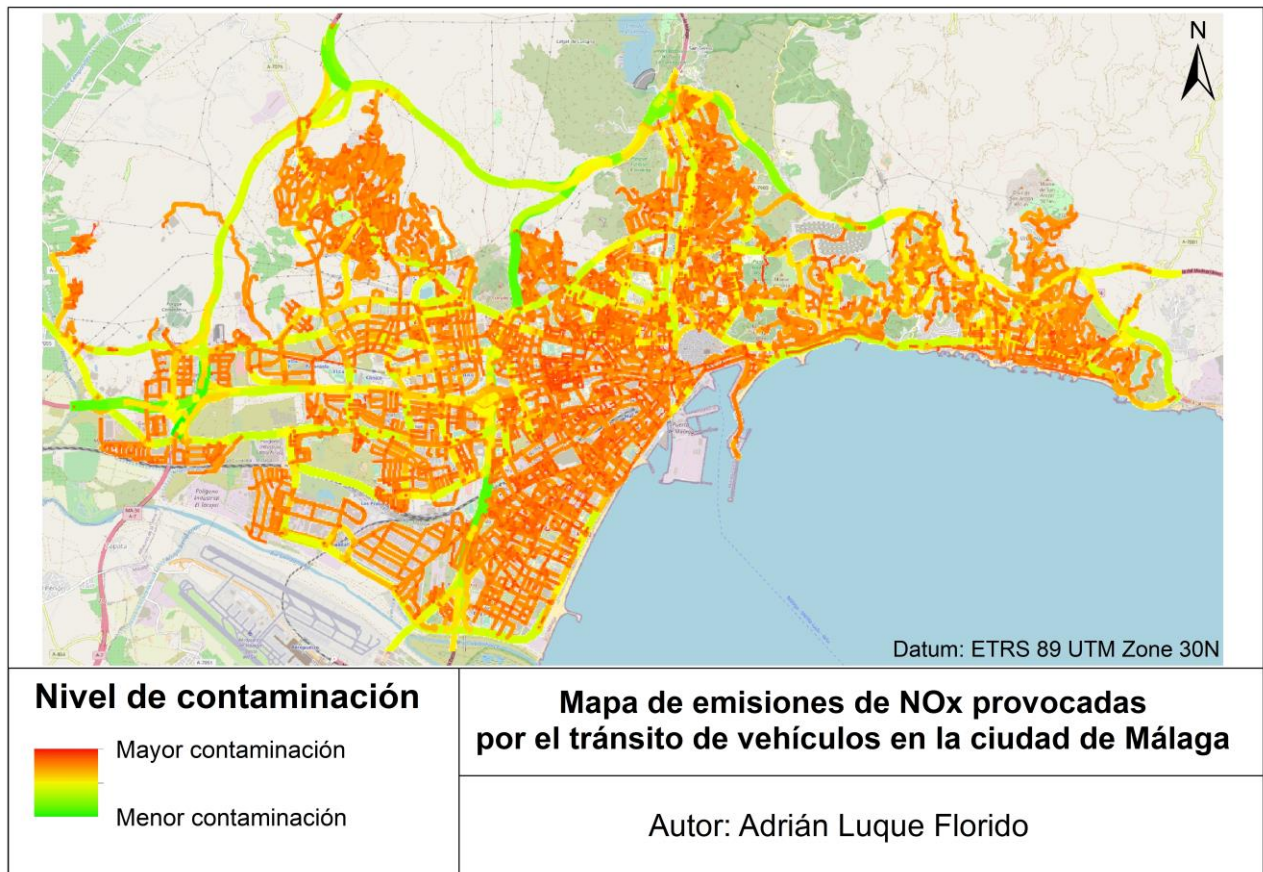


Figura 21. Mapa de emisiones NOx en la ciudad de Málaga. Fte: Elaboración propia

Como se puede observar en el mapa, encontramos zonas de alta concentración de emisiones de NOx por toda la ciudad, aunque destaca la concentración en los barrios más céntricos de la ciudad (Centro, Huelin, Cruz de Humilladero, Carranque etc.). Estas zonas coinciden con las zonas de mayor tránsito de vehículos. En la periferia, por el contrario nos encontramos con zonas una concentración de emisiones menor.

Las soluciones propuesta anteriormente, contribuyen a una mejora de los niveles de contaminación, ya que dichos niveles derivan de un tránsito constante y de los atascos,

por lo que además de reducir los tiempos de viaje, mejoraría la calidad del aire en la ciudad, lo que sería de gran importancia para el ecosistema y para las personas.

#### **4.2 Segundo escenario**

En este segundo escenario, el proceso es similar al del primer escenario, procediéndose nuevamente a la realización de la simulación teniendo en cuenta toda la red viaria de la ciudad de Málaga, aunque este caso, exceptuando el viario de la zona Soho-Centro, ya que se ha procedido a la peatonalización de la misma.

A la hora de realizar la simulación, también se han modificado algunos parámetros con respecto al primer escenario, con la finalidad de observar si estos cambios suponen un cambio considerable en la circulación. Estas modificaciones son: un mayor número de vehículos, en este caso 15000 vehículos; una mayor aceleración en los mismos; y, por consiguiente, un mayor tiempo de simulación, ya que el tiempo necesario para que todos los vehículos realicen sus rutas preestablecidas es mayor, siendo en este caso, el tiempo de simulación de 17000 segundos. Debido a ello, las capturas en la simulación se han tomado en un lapso de tiempo superior a los que realizábamos en el primer escenario, tomando en este caso, una captura de la simulación cada 4000 segundos (Figuras 22, 23, 24 y 25).

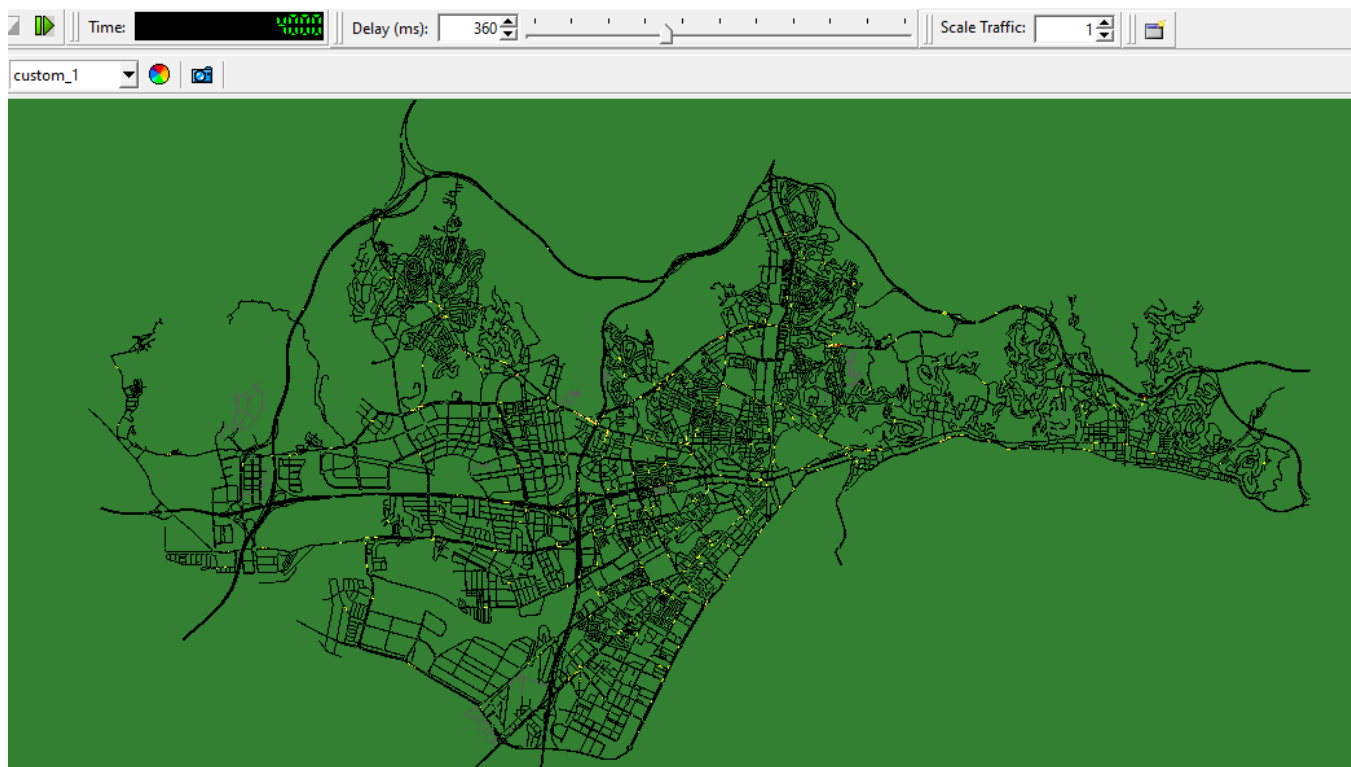


Figura 22. Simulación a los 4000 segundos. Fte: Elaboración propia.

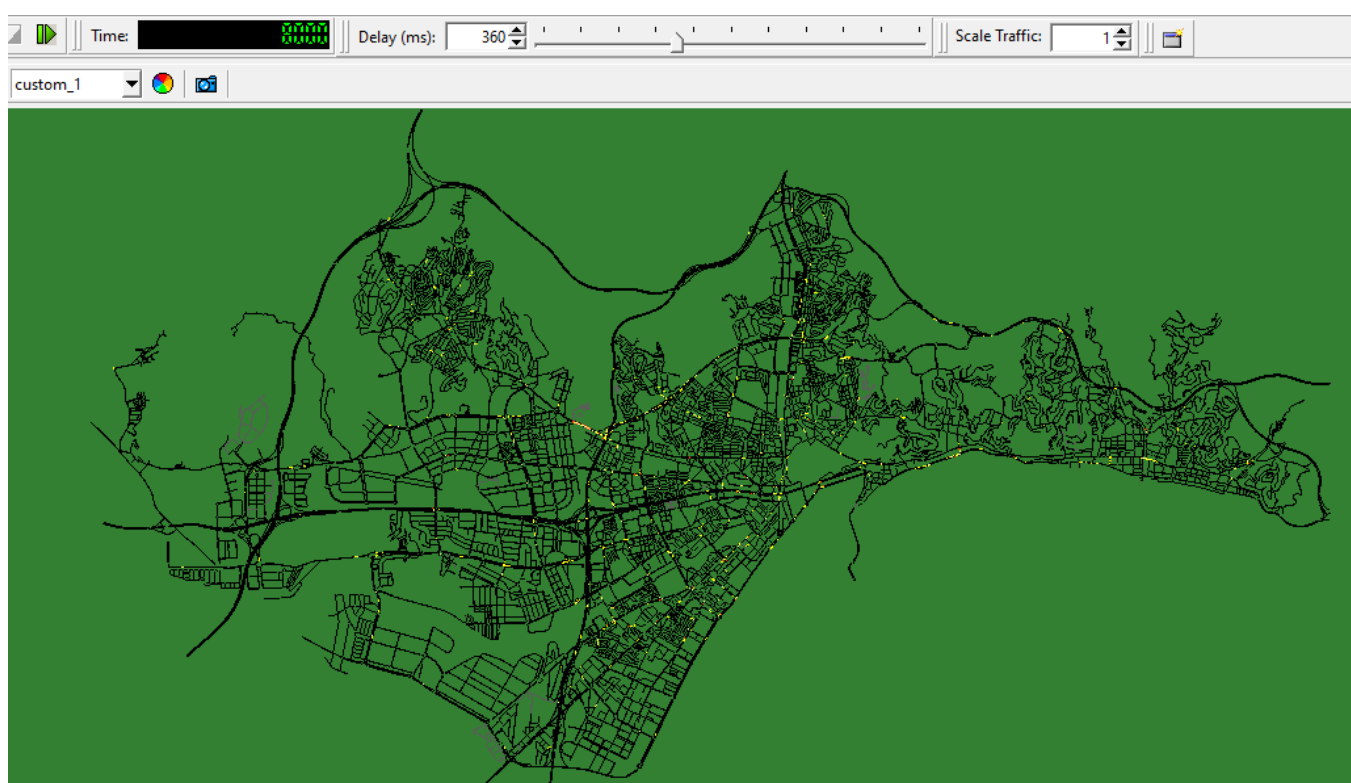


Figura 23. Simulación a los 8000 segundos. Fte: Elaboración propia.

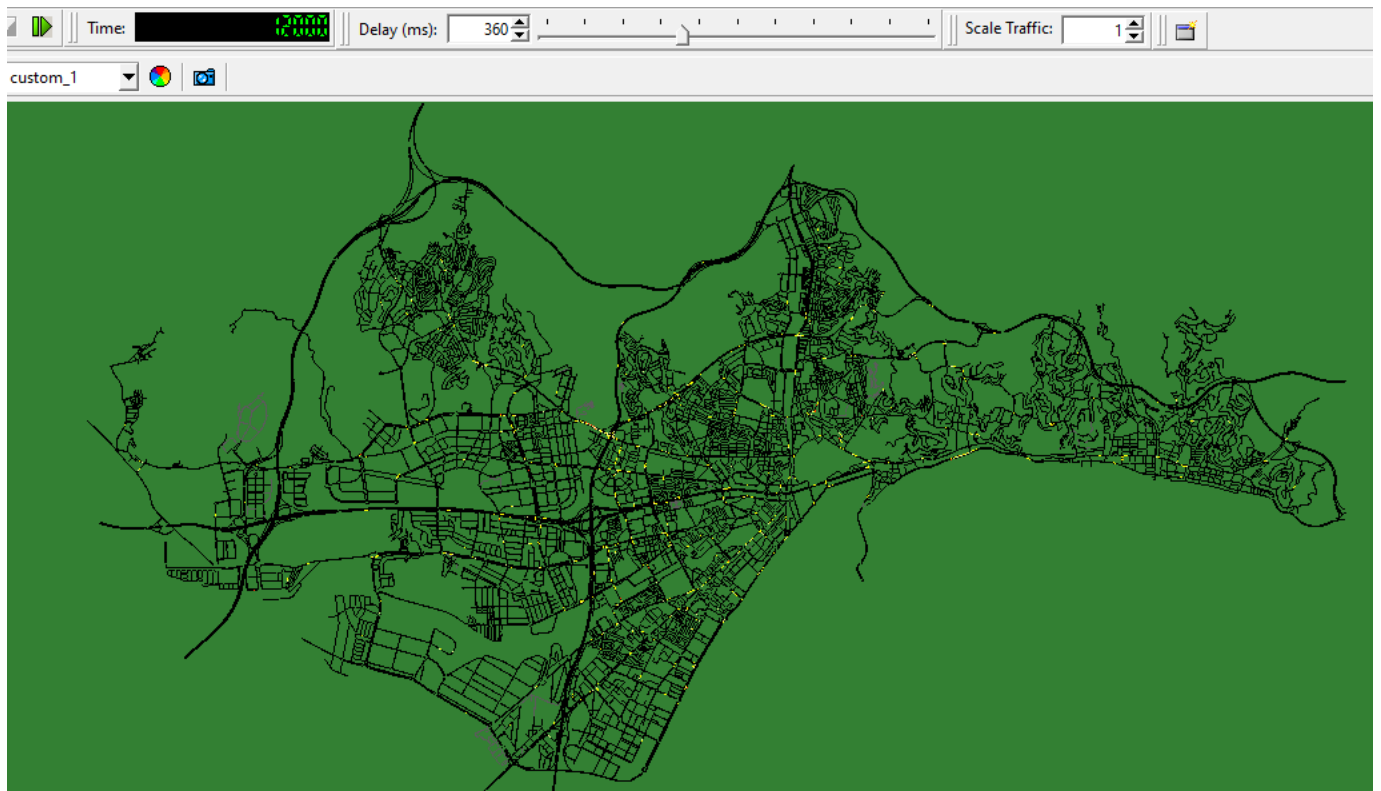


Figura 24. Simulación a los 12000 segundos. Fte: Elaboración propia.

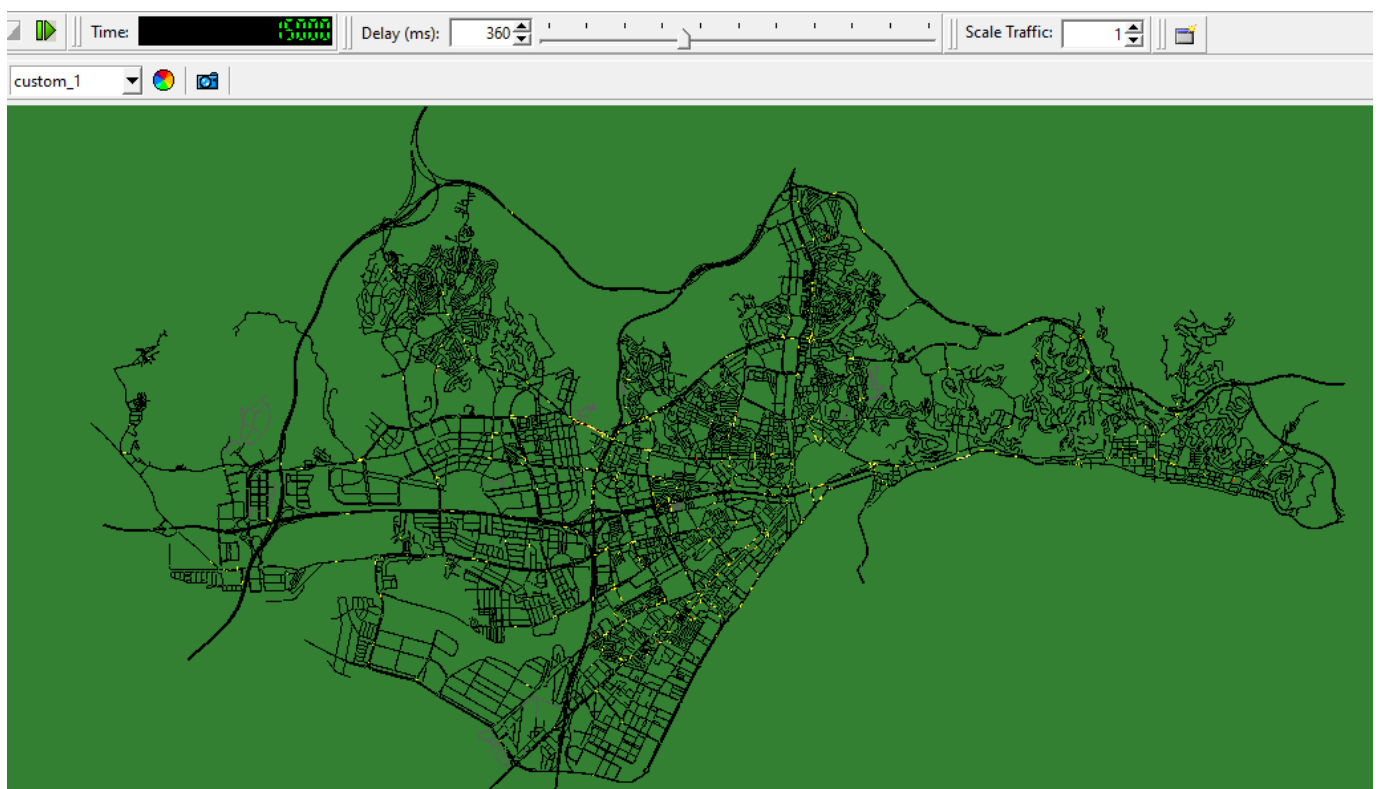
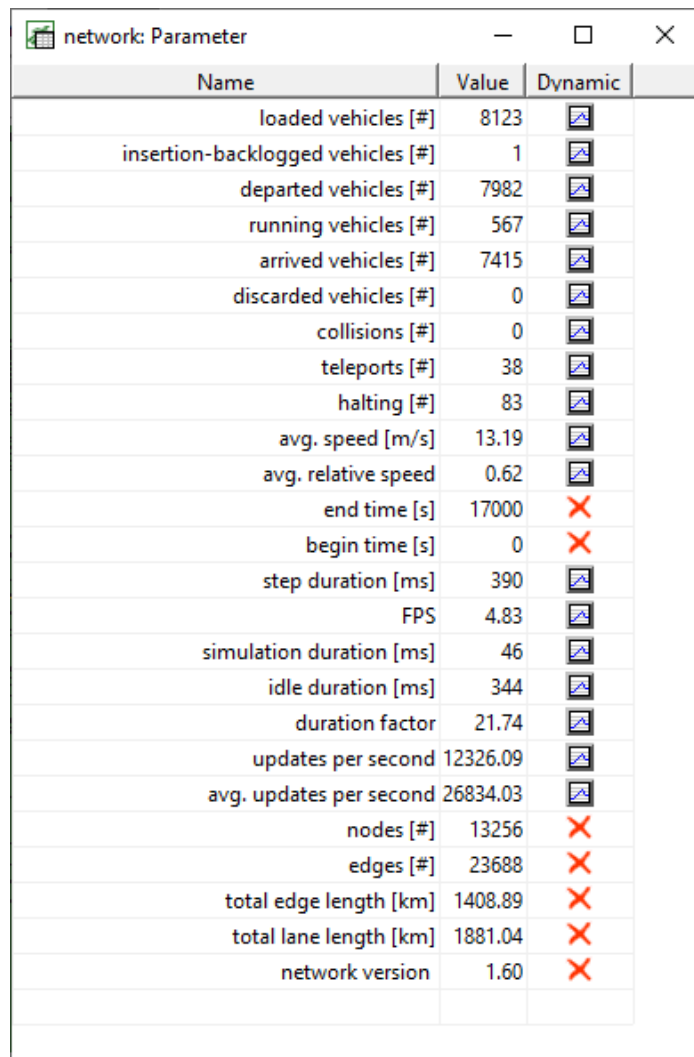


Figura 25. Simulación a los 15000 segundos. Fte: Elaboración propia.

A lo largo de todo el proceso de simulación, observamos una situación parecida a la que nos ofrecía el primer escenario, con una mayor preeminencia de tráfico en zonas céntricas o próximas a éstas, y un menor tránsito a medida que nos alejamos de las mismas.

Al igual que en el primer escenario, a partir de la simulación, obtenemos datos de interés en forma de parámetros. La captura de los mismos, se ha tomado justamente en el ecuador de la simulación (8500 segundos) (Figura 26).

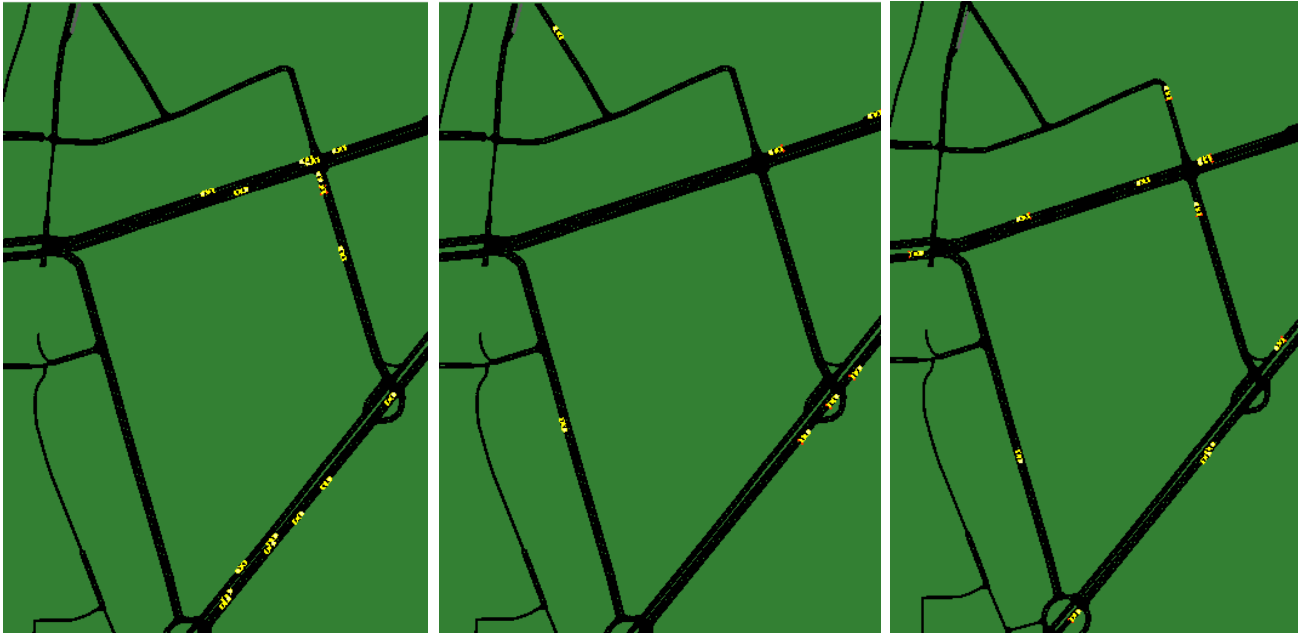


| Name                              | Value    | Dynamic |
|-----------------------------------|----------|---------|
| loaded vehicles [#]               | 8123     |         |
| insertion-backlogged vehicles [#] | 1        |         |
| departed vehicles [#]             | 7982     |         |
| running vehicles [#]              | 567      |         |
| arrived vehicles [#]              | 7415     |         |
| discarded vehicles [#]            | 0        |         |
| collisions [#]                    | 0        |         |
| teleports [#]                     | 38       |         |
| halting [#]                       | 83       |         |
| avg. speed [m/s]                  | 13.19    |         |
| avg. relative speed               | 0.62     |         |
| end time [s]                      | 17000    | ✗       |
| begin time [s]                    | 0        | ✗       |
| step duration [ms]                | 390      |         |
| FPS                               | 4.83     |         |
| simulation duration [ms]          | 46       |         |
| idle duration [ms]                | 344      |         |
| duration factor                   | 21.74    |         |
| updates per second                | 12326.09 |         |
| avg. updates per second           | 26834.03 |         |
| nodes [#]                         | 13256    | ✗       |
| edges [#]                         | 23688    | ✗       |
| total edge length [km]            | 1408.89  | ✗       |
| total lane length [km]            | 1881.04  | ✗       |
| network version                   | 1.60     | ✗       |

Figura 26. Parámetros de la simulación a los 8500 segundos. Fte: Elaboración propia.

Al comparar dichos parámetros con los obtenidos en el primer escenario, observamos entre otras cosas, una mayor cantidad de vehículos, ya que se dobló la cantidad de vehículos; y, un ligero aumento en la velocidad media de los mismos, fruto de haberles aumentado un poco la aceleración a los mismos.

Como en este segundo escenario se ha propuesto la peatonalización de una zona de la ciudad, es importante ver cómo se comporta el tráfico en zonas próximas a la misma. A lo largo de las siguientes capturas tomadas en distintos puntos de la simulación (Figuras 27, 28 y 29) se observa que no se producen atascos en la zona, llevándose a cabo una circulación fluida.



Figuras 27, 28 y 29. Simulación en la zona del Soho – Centro. Fte: Elaboración propia.

Con estos resultados, por tanto, se podría estudiar llevar a cabo dichas modificaciones de peatonalización con un mayor ahínco, ya que en base a nuestra simulación, se puede observar que llevarla a cabo no produce ningún tipo de atasco en la zona. No obstante, hay que tener en cuenta otros parámetros, como es el desembolso económico que ello supondría, la existencia de leyes reguladoras en dicha zona, o el descontento de algunos suministradores de productos, etc.

Al igual que observábamos en el primer escenario, hay zonas en las que se produce una mayor concentración de vehículos, suponiendo a veces, ligeros atascos. Algunas de estas zonas son las mismas que se observaban con anterioridad:

- Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán (Figura 30).

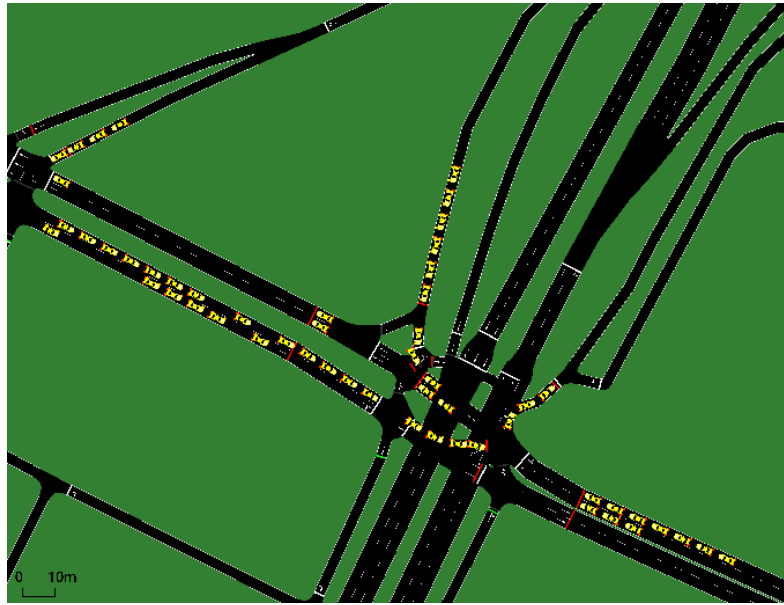


Figura 30. Simulación en Avenida de Carlos Haya con la Avenida de Valle-Inclán Fte: Elaboración propia.

Al igual que se observaba con anterioridad, estamos ante una intersección algo enrevesada, lo que provoca que los atascos sean constantes. Una propuesta interesante sería la modificación de los tiempos de ciclo de los semáforos con la finalidad de observar si mejora la circulación.

- Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340. (Figura 31)

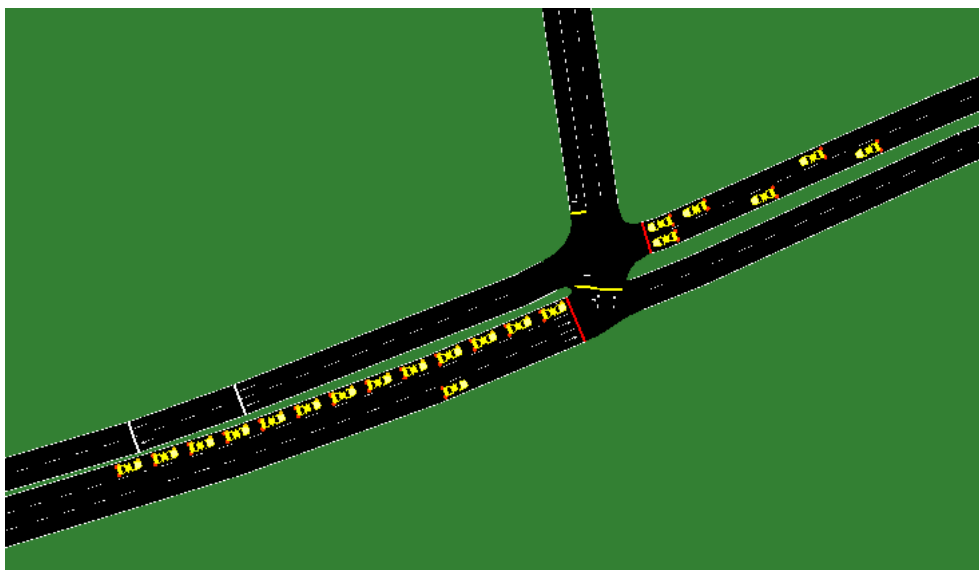


Figura 31. Simulación en Paseo marítimo Pablo Ruíz Picasso – Carretera Nacional N-340. Fte: Elaboración propia.

Esta zona también se observaba en el primer escenario. En ella, la existencia de semáforos que regulan la movilidad hace que se provoque una pequeña congestión. Cabe destacar además que es una zona ciertamente transitada.

- Paseo de Reding – Paseo del Parque. (Figura 32)



Figura 32. Simulación Paseo de Reding – Paseo del Parque. Fte: Elaboración propia.

Aunque en esta zona no encontramos ninguna congestión destacable; encontramos vehículos que se mueven hacia diferentes destinos, fruto de ser un punto donde se entremezclan una gran cantidad de vías de comunicación.

Aunque las situaciones que se han mostrado anteriormente ocurrían también en el primer escenario, aunque con una menor intensidad, fruto de un menor número de vehículos utilizados en la simulación; en este segundo escenario, en la zona de la Rosaleda, más concretamente en la calle Francisco Fray Pimentel, se observa que se genera un leve embotellamiento debido a un aumento de vehículos en la zona, el cual no se observaba en el primer escenario (Figuras 33 y 34).

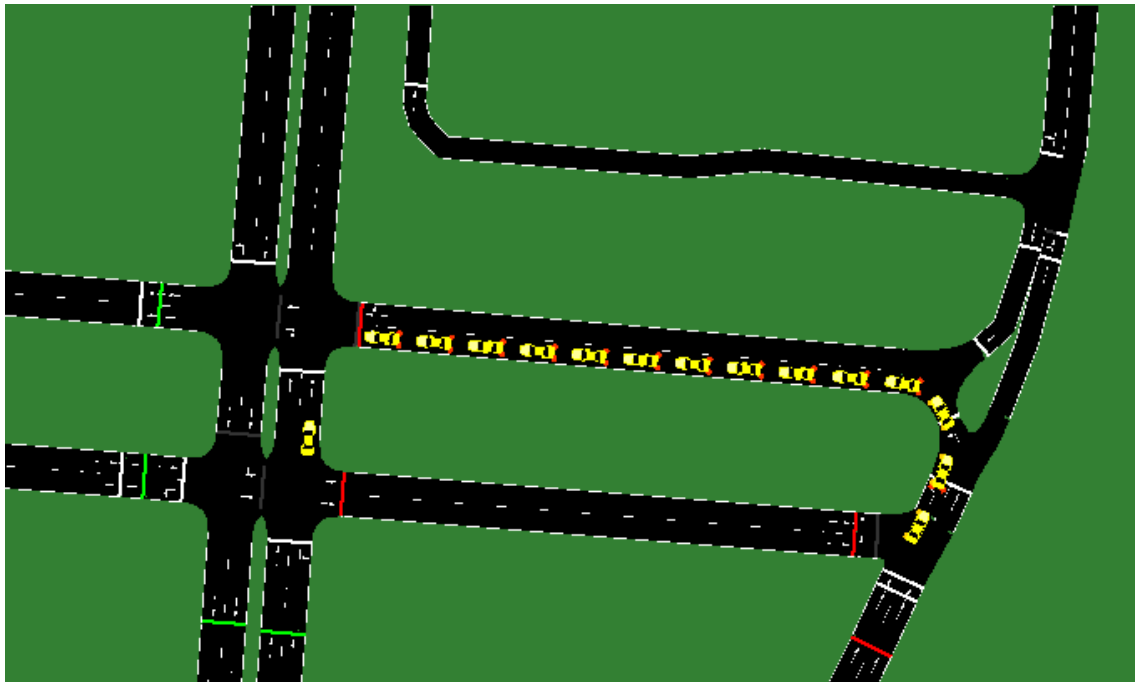


Figura 33. Simulación en la Calle Francisco Fray Pimentel. Fte: Elaboración propia.



Figura 34. Street View de Open Street Maps en Calle Francisco Fray Pimentel. Fte: Elaboración propia.

Al igual que se realizó en el primer escenario, se ha elaborado un mapa de emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) sustentado en la simulación, con la finalidad de establecer diferencias en las zonas de la ciudad en cuanto a nivel de contaminación.

En siguiente mapa (Figura 35) se observa que la contaminación se distribuye de una forma similar a como lo hacía en el primer escenario, observándose unos mayores niveles, sobre todo, en zonas concéntricas. También, podemos observar que en la zona en la que realizamos la peatonalización (Soho – Centro), los niveles de contaminación han disminuido y en las vías contiguas a la zona, no se observan un aumento de dichos niveles, por lo que estudiar llevar a cabo dichas modificaciones con mayor profundidad, podría ser un hecho novedoso e importante.

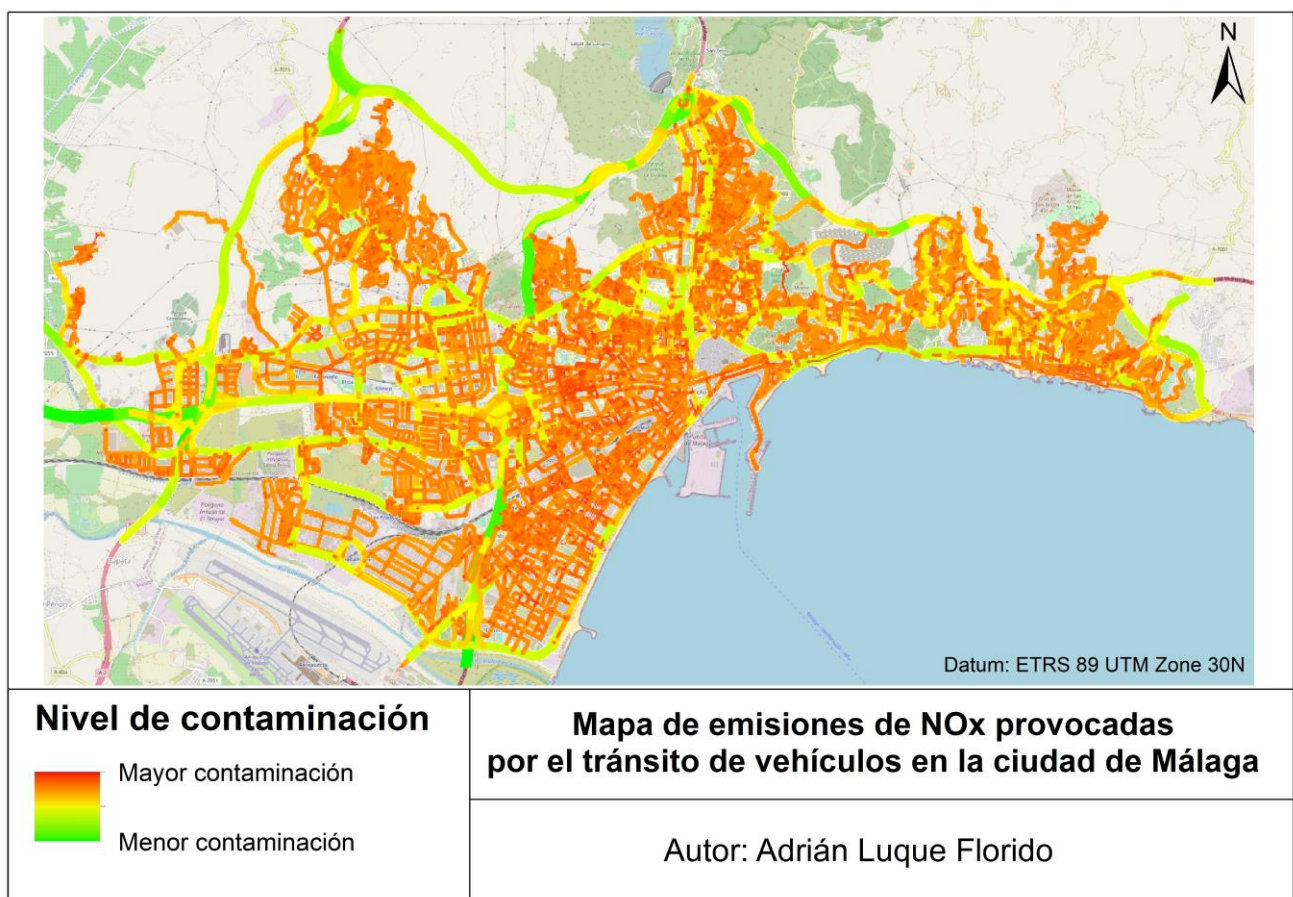


Figura 35. Mapa de emisiones NOx en la ciudad de Málaga. Fte: Elaboración propia

## 5. Conclusiones

A lo largo de todo el proceso de simulación se ha podido observar cómo se comporta el tráfico urbano en la ciudad de Málaga. A partir del mismo, se pueden extraer una serie de conclusiones que nos permitan sintetizar y enfatizar en los aspectos más importantes de nuestro estudio. Estas conclusiones son las siguientes:

- Málaga cuenta con un tráfico de cierta importancia, fruto de ser una ciudad en la que confluyen diferentes procesos, como el laboral, comercial, turístico, logístico, etc. Todos estos procesos necesitan de una red de transporte que permita una circulación fluida, ordenada y coherente. También es importante, que se encuentre en buen estado.
- Las zonas en las que encontramos unos mayores niveles de tráfico, se corresponden con zonas céntricas de la ciudad y próximas a éstas, perdiendo intensidad a medida que nos alejamos hacia la periferia urbana.
- Los mayores niveles de contaminación se encuentran en las zonas donde hay unos mayores niveles de circulación, que como se indicaba anteriormente, corresponde a zonas céntricas.
- Las zonas donde se producen ciertos atascos o embotellamientos, se encuentran repartidas a lo largo de la ciudad, aunque con una mayor preeminencia en las zonas de acceso o salida de las zonas céntricas. Estos atascos se producen por lo general, en intersecciones reguladas por semáforos donde confluyen una cantidad importante de vías de comunicación y de vehículos.

Mediante las anteriores conclusiones, se puede destacar que se han logrado los objetivos que se establecieron al inicio. Además, a partir del presente trabajo se pueden realizar futuros estudios, como por ejemplo el estudio detallado de diferentes barrios con la finalidad de realizar una serie de modificaciones concretas en los mismos; o también la simulación en la ciudad, prestando atención a los carriles con circulación limitada a 30 km/h, que parece que serán de gran importancia en el tránsito urbano de cara al futuro.

## 6. Bibliografía.

Ayuntamiento de Málaga (2015). Plan Especial de Movilidad Urbana Sostenible (PEMUS). Recuperado de: <https://movilidad.malaga.eu/opencms/export/sites/movilidad/.content/galerias/Documentos-del-site/PEMUS.pdf>

Ayuntamiento de Málaga (2018). Málaga Smart Plan Estratégico De Innovación Tecnológica 2018-2022. Recuperado de: [http://malagasmart.malaga.eu/opencms/export/sites/msmart/.content/galerias/documentos/Plan\\_Estrategico\\_de\\_Innovacion\\_bajares.pdf](http://malagasmart.malaga.eu/opencms/export/sites/msmart/.content/galerias/documentos/Plan_Estrategico_de_Innovacion_bajares.pdf)

Barceló, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Barcelona, España: Ed. Springer.

Bloomberg, L., Dale. J (2000). A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models. *Computer Science*. Pp. 1-17.

Carballo, L., Villagra, A., Erreclade, M (2019). Movilidad inteligente: reducción de emisión de gases. *Informe Científico Técnico UNPA*, 11 (2), pp. 53-69.

Diario Sur (2021). Ciclistas consideran «poco ambiciosa» la limitación de la velocidad a 30 km/h en Málaga. Recuperado de: <https://www.diariosur.es/malaga-capital/ciclistas-consideran-poco-20200502195350-nt.html>

Eclipse. (2015). SUMO\_wiki. Recuperado de: <https://sumo.dlr.de/docs/index.html>

Haklay, M, P. Weber. (2008) OpenStreetMap: User-Generated Street Maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7 (4), pp. 12-18.

Instituto Nacional de Estadística (INE). Recuperado de: <https://www.ine.es/>

Krajzewich, D., Herkton, G., Feld, C., Wagner, P. (2002). SUMO (Simulation of Urban MObility); An open-source traffic simulation. *Conference Paper*.

Krajzewich, D., Erdmann, J., Behrish, M., Bieker-Walz, L. (2012). Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban Mobility. *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, 5 (3-4). pp. 128-138.

Lizarraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía Sociedad y Territorio*, 6 (22), pp. 283-321.

López, D., González, M.A. (1996). La movilidad por motivo de trabajo en la ciudad de Málaga. *Baética. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 18. Pp. 97-128.

Metz, D. (2018). Tackling urban traffic congestion: The experience of London, Stockholm and Singapore. *Case Studies on Transport Policy*, 6, pp. 494-498.

Muñoz, F. (2004). La congestión del tráfico urbano. *Contribuciones a la Economía*.

Penic, A., Upchurch, J. (1992). TRANSYT-7F: Enhancement for Fuel Consumption, Pollution Emissions, and User Costs. *Transportation Research Record*, 1360, pp. 104-111.

Sánchez, A. (1977). El tráfico automovilístico, portuario, aéreo y ferroviario. Su incidencia sobre el Medio Ambiente Urbano. *Revista de Administración Pública*, 82. pp. 327-380.

Sánchez. S. (2009). Málaga es la gran urbe española con más vehículos por cada cien habitantes. *Málaga Hoy*. Recuperado de: [https://www.malagahoy.es/malaga/Malaga-gran-espanola-vehiculos-habitantes\\_0\\_325767536.html](https://www.malagahoy.es/malaga/Malaga-gran-espanola-vehiculos-habitantes_0_325767536.html)

Ratrout, N., Reza, I. (2014). Comparison of optimal signal plans by Synchro & TRANSYT-7F using PARAMICS – A case study. *Procedia Computer Science*, 32. pp. 372-379.

Reconstrucción de accidentes de tráfico (2020). El ciclo semafórico. ¿Sabes qué es y cómo puede ser útil en la reconstrucción de un accidente de tráfico? Recuperado de: <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/el-ciclo-semaforico-sabes-que-es-y-como-puede-ser-util-en-la-reconstruccion-de-un-accidente-de-traffic/>

Tapia, J.A. (1998). La promoción del tráfico de automóviles: una política urgente de promoción de la salud. *Rev Panam Salud Publica*, 3 (3), pp. 137-151.

York, A., Rouleau, B. (2017). Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence. *Journal of Transport & Health.*, (7), pp. 111-124.

Zhao, X., Feng, M., Li, H., Zhang, T. (2016). Optimization of Signal Timing at Critical Intersections for Evacuation. *Procedia Engineering*, 137, pp. 334-342.

Zaky, M., Airulla, D., Joelianto, E., Sutarto, H. (2017). Urban Traffic Simulation Using SUMO Open Source Tools. *Internetworking Indonesia Journal*, 9 (1), pp. 83-88.

## 7. Anexo Técnico.

### 7.1 Primer Escenario.

En primer lugar, se descarga la red viaria con la cual se trabajará posteriormente; para dicha descarga se ha utilizado Open Street Map (OSM), que es una plataforma colaborativa que proporciona entre otros elementos, mapas de calles generados por los usuarios. Es por tanto una plataforma gratuita y editable, que ha tenido un amplio desarrollo desde su inicio (Haklay y Weber, 2008). En este caso se ha utilizado la extensión QuickOSM, que se encuentra dentro del software de Sistemas de Información Geográfica QGIS. En dicha extensión, se han descargado todas las vías definidas dentro del parámetro key = highway para la ciudad de Málaga, como se observa en la siguiente imagen (Figura 36):



Figura 36. Descarga red viaria OSM. Fte: Elaboración propia.

El paso posterior ha sido depurar dicha red, desechando de esta forma todas aquellas vías por las que no pueden circular vehículos, son las siguientes: “pedestrian”, “footway”, “bridleway”, “steps”, “corridor”, “path”, “construction”, “cycleway”, “raceway”, “proposed”, “track” y “escape”. El archivo resultante de la modificación, se ha denominado “mlg”, haciendo alusión a las siglas de la ciudad de Málaga. Este archivo se guarda dentro de la carpeta llamada “Tutorial”, situada dentro de la unidad

C:\Tutorial, dentro de esta carpeta es en la que se irán guardando todos los archivos que vayan surgiendo después de aplicar los diferentes procesos y herramientas.

Anteriormente, se han descargado las vías en forma de cuadrícula, el paso posterior es utilizar la herramienta de edición Java de Open Street Maps (JOSM), para eliminar aquellas vías que escapan de la forma de estudio, además se han modificado a grandes rasgos aquellas vías que no se encontraban unidas, aunque posteriormente se realizará en profundidad mediante la herramienta NetEdit. Una vez realizadas las modificaciones en JOSM, el viario resulta de la siguiente forma (figura 37):

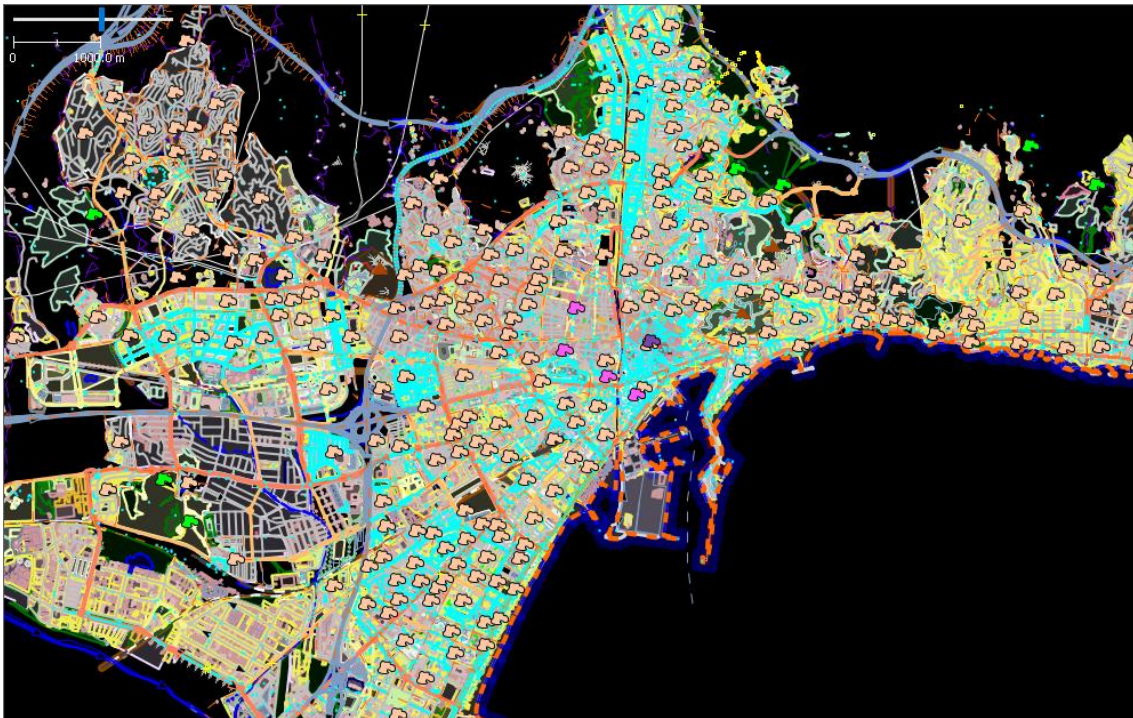


Figura 37. Edición mediante JOSM. Fte: Elaboración propia.

Una vez tenemos la red viaria en formato Open Street Map, hay que convertirla a un tipo de red compuesta por áreas, líneas y nodos, que pueda ser leída por SUMO. Para realizar dicha conversión, utilizamos la herramienta NetConvert. Para ejecutar dicha herramienta, la copiamos en nuestra carpeta de trabajo “Tutorial”, una vez aquí abrimos la consola de comandos de Windows (cmd), y ejecutamos el siguiente código:

```
C:\Tutorial>NetConvert --osm mlg.osm -o mlg.net.xml --no-turnarounds true --  
output.street-names true --log osm2net.log
```

El siguiente código está compuesto en primer lugar por *NetConvert* haciendo alusión a la herramienta que se va a utilizar; en segundo lugar `--osm mlg.osm` nos indica el archivo de entrada, en este caso el archivo .osm de Málaga que se obtuvo con anterioridad; `-o mlg.net.xml`, es el archivo Output o de salida, en este caso en un formato net.xml, para que pueda ser leído por SUMO; `--no-turnaround true` es una función que se utiliza para añadir la restricción de giro en forma de “U” en todos los enlaces o intersecciones; con `output.street-names true` indicamos que se indiquen los diferentes nombres de las calles en la salida; y con `--log osm2net.log` generamos un archivo que muestra los diferentes errores o advertencias que han surgido de la conversión del archivo .osm al formato net.xml.

El archivo .net.xml que se origina tiene el siguiente aspecto (Figuras 38 y 39).

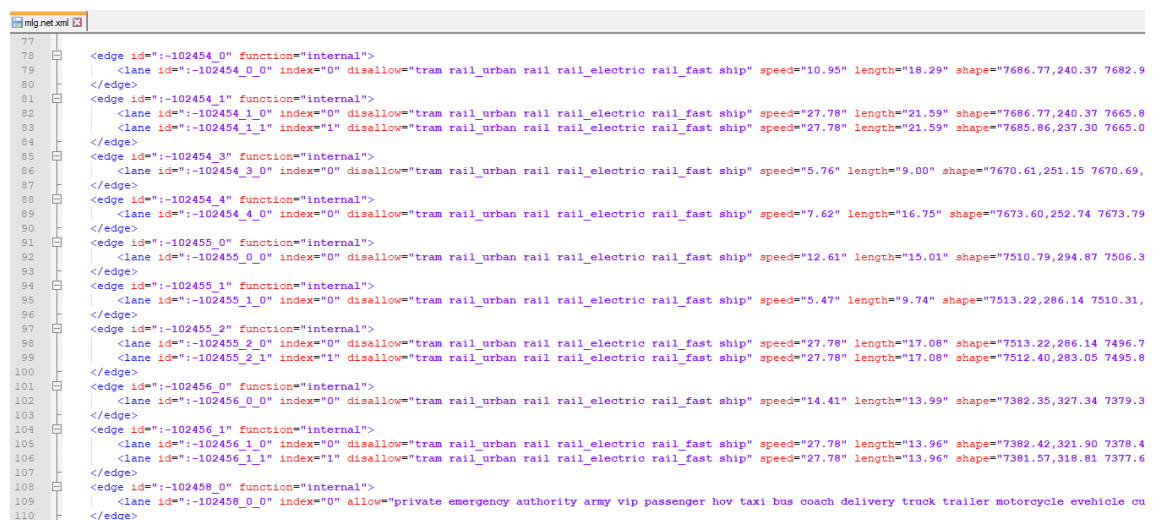


```

40 <!--net version="1.6" junctionCornerDetail="5" limitTurnSpeed="5.50" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.wiki.org/sumo-net.xml" -->
41 <!--location netOffset="-362428.20,-4060003.90" convBoundary="41.19,0.00,18315.20,10069.14" origBoundary="-4.540193,36.676533,-4.335326,36.767473" projParameters="proj4=proj4:epsg=31466" -->
42 <!--type id="highway.bridleway" priority="1" numLanes="1" speed="2.78" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
43 <!--type id="highway.bus_guideway" priority="1" numLanes="1" speed="27.78" allow="bus" oneway="1"/>
44 <!--type id="highway.cycleway" priority="1" numLanes="1" speed="8.33" allow="bicycle" oneway="0" width="1.00"/>
45 <!--type id="highway.footway" priority="1" numLanes="1" speed="2.78" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
46 <!--type id="highway.ford" priority="1" numLanes="1" speed="2.78" allow="army" oneway="0"/>
47 <!--type id="highway.living_street" priority="2" numLanes="1" speed="2.78" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" oneway="0"/>
48 <!--type id="highway.motorway" priority="14" numLanes="2" speed="39.44" allow="private emergency authority army vip passenger hov taxi bus coach delivery truck" oneway="0"/>
49 <!--type id="highway.motorway_link" priority="9" numLanes="1" speed="22.22" allow="private emergency authority army vip passenger hov taxi bus coach delivery truck" oneway="1" width="2.00"/>
50 <!--type id="highway.path" priority="1" numLanes="1" speed="2.78" allow="pedestrian bicycle" oneway="1" width="2.00"/>
51 <!--type id="highway.pedestrian" priority="1" numLanes="1" speed="2.78" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
52 <!--type id="highway.primary" priority="12" numLanes="2" speed="27.78" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" oneway="0"/>
53 <!--type id="highway.primary_link" priority="7" numLanes="1" speed="22.22" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" oneway="0"/>
54 <!--type id="highway.raceway" priority="15" numLanes="2" speed="83.33" allow="vip" oneway="0"/>
55 <!--type id="highway.residential" priority="8" numLanes="1" speed="13.89" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" oneway="0"/>
56 <!--type id="highway.secondary" priority="11" numLanes="1" speed="27.78" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" oneway="0"/>
57 <!--type id="highway.secondary_link" priority="6" numLanes="1" speed="22.22" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" oneway="0"/>
58 <!--type id="highway.service" priority="1" numLanes="1" speed="5.56" allow="pedestrian delivery bicycle" oneway="0"/>
59 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
60 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
61 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
62 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
63 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
64 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
65 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
66 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
67 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
68 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
69 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
70 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
71 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
72 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>
73 <!--type id="highway.steps" priority="1" numLanes="1" speed="1.39" allow="pedestrian" oneway="1" width="2.00"/>

```

Figura 38. Archivo mlg.net.xml. Fte: Elaboración propia.



```

77 <!--edge id="102454_0" function="internal">
78 <!--lane id="102454_0_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="10.95" length="18.29" shape="7686.77,240.37 7682.9
79 </lane>
80 </edge>
81 <!--edge id="102454_1" function="internal">
82 <!--lane id="102454_1_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="27.78" length="21.59" shape="7686.77,240.37 7665.8
83 <!--lane id="102454_1_1" index="1" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="27.78" length="21.59" shape="7685.86,237.30 7665.0
84 </lane>
85 </edge>
86 <!--edge id="102454_3" function="internal">
87 <!--lane id="102454_3_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="5.76" length="9.00" shape="7670.61,251.15 7670.69,
88 </lane>
89 </edge>
90 <!--edge id="102454_4" function="internal">
91 <!--lane id="102454_4_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="7.62" length="16.75" shape="7673.60,252.74 7673.79
92 </lane>
93 </edge>
94 <!--edge id="102455_0" function="internal">
95 <!--lane id="102455_0_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="12.61" length="15.01" shape="7510.79,294.87 7506.3
96 </lane>
97 </edge>
98 <!--edge id="102455_1" function="internal">
99 <!--lane id="102455_1_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="5.47" length="9.74" shape="7513.22,286.14 7510.31,
100 </lane>
101 </edge>
102 <!--edge id="102455_2" function="internal">
103 <!--lane id="102455_2_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="27.78" length="17.08" shape="7513.22,286.14 7496.7
104 <!--lane id="102455_2_1" index="1" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="27.78" length="17.08" shape="7512.40,283.05 7495.8
105 </lane>
106 </edge>
107 <!--edge id="102456_0" function="internal">
108 <!--lane id="102456_0_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="14.41" length="13.99" shape="7382.35,327.34 7379.3
109 </lane>
110 </edge>
111 <!--edge id="102456_1" function="internal">
112 <!--lane id="102456_1_0" index="0" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="27.78" length="13.96" shape="7382.42,321.90 7378.4
113 <!--lane id="102456_1_1" index="1" disallow="tram rail urban rail rail_electric rail_fast ship" speed="27.78" length="13.96" shape="7381.57,318.81 7377.6
114 </lane>
115 </edge>
116 <!--edge id="102458_0" function="internal">
117 <!--lane id="102458_0_0" index="0" allow="private emergency authority army vip passenger hov taxi bus coach delivery truck trailer motorcycle evehicle cu
118 </lane>
119 </edge>

```

Figura 39. Archivo mlg.net.xml. Fte: Elaboración propia.

Una vez que se ha obtenido el archivo net.xml, podemos comenzar a trabajar con él mediante diferentes herramientas o funciones de SUMO, en primer utilizaremos una herramienta de gran utilidad llamada “NetEdit”, que como su propio nombre indica, nos permite editar nuestro archivo.

La depuración del archivo net.xml es muy importante, lo que gracias a esta herramienta se puede realizar a un gran nivel de detalle, cosa que no lográbamos anteriormente con JOSM, además NetEdit nos permite realizar otros tipos de funcionalidades con nuestras vías.

El objetivo por tanto es editar todo aquello que consideremos erróneo en nuestra red viaria, además de la edición de las fases de los semáforos.

Mediante la función “Inspect” podemos, como su propio nombre indica, inspeccionar y editar información acerca de los carriles. Gracias a esta funcionalidad se han añadido carriles donde era necesario, después de comparar la red viaria importada con Google Maps, que ha sido de gran utilidad.

La función “Connection”, también ha sido de gran utilidad ya que nos permite revisar los giros posibles desde un determinado carril y modificarlos. En nuestra red viaria, hemos encontrado giros que no debían de producirse, ya que incurrían por ejemplo en entradas a calles con dirección prohibida, etc. Para ello, ha vuelto de ser de gran utilidad nuevamente Google Maps, ya que en su versión de visualización “Satélite” muestra la dirección correcta y cada uno de los giros en las intersecciones.

Otra de las funciones utilizadas ha sido la de “Edge”, que permite añadir vías donde faltaban en nuestra red viaria o bien añadir segmentos para conectar aquellas vías que no se encontraban conectadas.

Mientras que por otro lado, aquellas vías que sobraban, ya fuera porque escapaban a nuestra zona de estudio o porque no eran de utilidad en el ámbito urbano se han eliminado.

No todas las funcionalidades están referidas a la edición de la red viaria, también hay otra como la de “Traffic Light”, que nos permite modificar el tiempo de cada una de las fases de los distintos semáforos repartidos a lo largo de la ciudad. El programa por

defecto proporciona un tiempo en cada una de las fases, que son difícilmente asimilables en la realidad.

Es por ello que se han establecido unos tiempos en cada una de las fases, siguiendo el criterio de la DGT, que especifica que los ciclos menores de 35 segundos o mayores de 150 segundos se acomodan difícilmente a la mentalidad del usuario de la vía pública, por lo que tienden a evitarse. Debido a ello se ha seleccionado la media entre ambas cifras, estableciendo un tiempo de 90 segundos, repartidos, por lo general de la siguiente forma: 50 segundos en verde, 3 segundos en ámbar y 37 segundos en rojo. Aunque dichas cifras, pueden variar ligeramente con la realidad de la ciudad, se ha optado por este método, ya que es el cronometrar el tiempo de cada una de las fases en cada uno de los semáforos de la ciudad es una tarea bastante compleja.

Una vez realizadas las anteriores modificaciones en nuestra red viaria, el resultado es el siguiente (Figura 40):

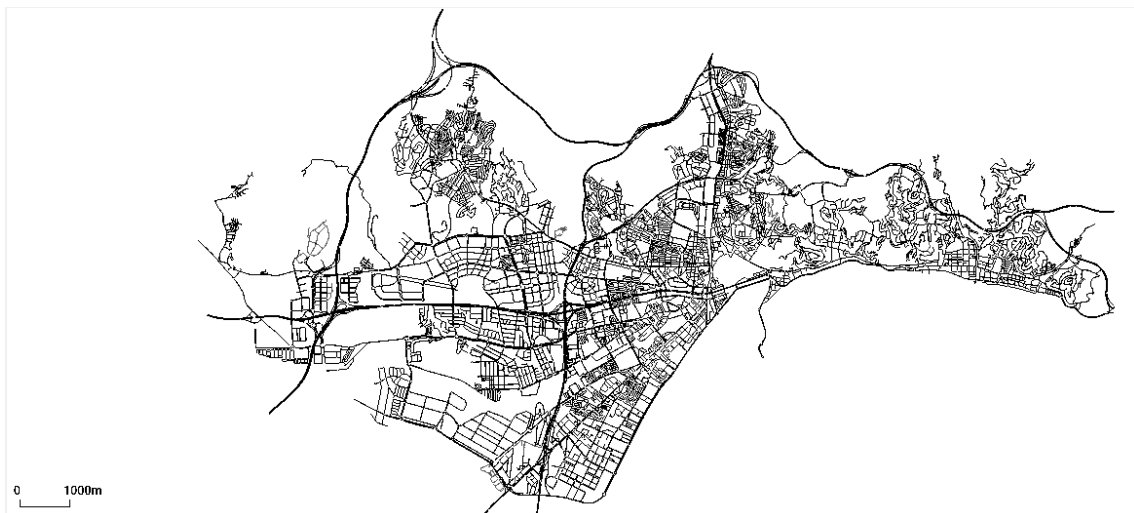


Figura 40. Red de transporte final de trabajo mlg.net.xml. Fte: Elaboración propia.

El paso posterior a la edición de las vías, es crear el archivo de vehículos, en el cual se definirán las características de los mismos. El archivo se ha declarado como vtype.xml (Figura 41), en él, se ha definido la identidad del vehículo, la aceleración, la desaceleración, el sigma (que denota la imperfección del conductor/a), la longitud del coche, la velocidad máxima (m/s) y la clase de vehículo.

```
1 <additional>
2   <vType id="tipol" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0.5" lenght="3" maxSpeed="50" vClass="passenger"/>
3 </additional>
```

Figura 41. Creación del archivo de tipo de vehículo. Fte: Elaboración propia.

En nuestro caso se ha creado un solo tipo de vehículo, el turismo, ya que es el transporte predominante en la ciudad, suponiendo más del 70% de los desplazamientos y por tanto, muestra una visión general del funcionamiento del tránsito urbano en Málaga. En cuanto a la velocidad máxima se ha establecido en 50 km/h ya que es, por lo general, la máxima velocidad permitida en ciudad.

Una vez creado el tipo de vehículo que circulará por la red viaria, generamos el archivo de recorridos, en la cual se crean una serie de recorridos aleatorios por la ciudad, desde un punto de inicio u origen, hasta un punto de destino o final. Para generar dicho archivo, copiamos la herramienta RandomTrips.py a nuestro directorio, y con la consola del sistema (cmd), declaramos el siguiente código.

```
C:\Tutorial>python randomTrips.py -n mlg.net.xml -o trips01.xml --trip-attributes="type='\"tipol\"'" -e 7500
```

En este código, hemos llamado en primer lugar a la herramienta RandomTrips para que se ejecute; en segundo lugar, se ha llamado a nuestra red viaria; posteriormente se ha determinado el nombre del archivo de salida; se ha indicado el tipo de vehículo que circulará; y, por último se han establecido el número de rutas, una para cada vehículo, en este caso se han escogido un total de 7500, con la finalidad de que se muestre con mayor realidad el tránsito rodado en la ciudad. El archivo que se genera es el siguiente (Figura 42).

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <!-- generated on 2020-11-18 13:42:21.179801 by randomtrips.py v1_6_0+0003-190709904e
3 options: -n mlg.net.xml -o trips01.xml <doubleminus>trip-attributes="type="tipol" -e 7500
4 -->
5 <!-->
6 <!-->
7 <!-->
8 <!-->
9 <!-->
10 <!-->
11 <!-->
12 <!-->
13 <!-->
14 <!-->
15 <!-->
16 <!-->
17 <!-->
18 <!-->
19 <!-->
20 <!-->
21 <!-->
22 <!-->
23 <!-->
24 <!-->
25 <!-->
26 <!-->
27 <!-->
28 <!-->
29 <!-->
30 <!-->
31 <!-->
32 <!-->
33 <!-->
```

Figura 42. Generación del archivo de recorridos. Fte: Elaboración propia.

Posteriormente a la generación de este archivo, es necesario crear un nuevo archivo de rutas con una mayor especificidad, que permita su lectura por parte del simulador SUMO, ya que como antes se mencionaba, el archivo anterior solo cuenta con un origen y un final, pero no cuenta con todo el trayecto que debe de realizar el vehículo para ir desde el lugar de inicio al lugar de destino. Es por ello que en este nuevo archivo se definen todas las calles o carreteras por las que circularán los vehículos dentro de una ruta marcada.

Para generar este nuevo archivo se ha utilizado la herramienta DUAROUTER, que utiliza la ruta óptima y permite definir rápidamente los movimientos de los vehículos y analizar su comportamiento.

Para utilizar esta herramienta, se sigue el mismo procedimiento que se ha realizado anteriormente con las otras, se ha copiado el archivo Duarouter a nuestro directorio, y desde éste, se ha llamado a la consola de Windows (cmd), en la cual se ha escrito el siguiente código:

```
C:\Tutorial>duarouter -n mlg.net.xml -t trips01.xml -o rutas01.xml -d vtype.xml -s 7500
```

En este código, en primer lugar hemos llamado a la herramienta; en segundo lugar hemos introducido la red viaria; posteriormente, el archivo de recorridos; se ha definido el archivo de salida; hemos introducido nuestro archivo de tipos de vehículos; y, por último se han definido el número de rutas.

De esta forma se crea un archivo en formato .xml (Figura 43) en la cual se definen el origen de cada una de las rutas, el trayecto a seguir y el final.

```

22 <!--
23
24 <routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
25   <type id="tipol" maxSpeed="50.00" vClass="passenger" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0.5"/>
26   <vehicle id="0" type="tipol" depart="0.00">
27     <route edges="232232770#7 232232770#8 495070825 -495070824 -267404891#2 -267404891#1 -267404891#0 267404895 614203779#2 614203779#3 568529895 31540878#4
28   </vehicle>
29   <vehicle id="1" type="tipol" depart="1.00">
30     <route edges="98865388 98865108#1 98865386#0 98865386#2 98865378 343697874 344495219 344497099 344497097#0 344497097#1 344497097#2 191454907
31   </vehicle>
32   <vehicle id="3" type="tipol" depart="3.00">
33     <route edges="77368530 77368559#0 77368597 322373498 117959304#2 117959304#3 117959304#4 590788595#0 590788595#1 590788595#2 357759060#0 357759060#1 357
34   </vehicle>
35   <vehicle id="4" type="tipol" depart="4.00">
36     <route edges="-494919422#2 494919421 -75076184#1 -75076184#0 -34610459 35978080#0 35978080#1 42431344 511066478 -35869640 -358312398#2 -358312398#1 -358
37   </vehicle>
38   <vehicle id="5" type="tipol" depart="5.00">
39     <route edges="596096490 596096492#0 596096492#1 596096496 596096487#0 596096487#1 730169261 102267687#3 102267687#4 102267687#5 256545941#0 256545941#1
40   </vehicle>
41   <vehicle id="6" type="tipol" depart="6.00">
42     <route edges="196823870#1 196823870#2 196820868#0 196820868#1 557622032 358344121#0 133955167#0 133955167#1 133955170#0 133955170#1 133955170#2 13395517
43   </vehicle>
44   <vehicle id="7" type="tipol" depart="7.00">
45     <route edges="99006781#2 99192473 99006772#0 99006772#1 360332667#1 360332682#0 360332682#1 190824292#0 190824292#1 360325319#0 360325319#1 360325319#2
46   </vehicle>
47   <vehicle id="8" type="tipol" depart="8.00">
48     <route edges="-566398900 -570966248 -566398897 -35869547#0 35869517#2 -34435138#0 -584526359 337226029#0 337226029#1 337226029#2 337226029#3 337226029#4
49   </vehicle>
50   <vehicle id="9" type="tipol" depart="9.00">
51     <route edges="-196958950 -60359606 43530822 60359608#0 60359608#1 60359608#2 358344105 358344107#0 358344107#1 358344107#2 60359607 60359606 196958950 1
52   </vehicle>
53   <vehicle id="10" type="tipol" depart="10.00">

```

Figura 43. Generación del archivo de rutas aleatorias. Fte: Elaboración propia.

Por último, el paso previo a realizar la simulación, es crear un archivo de configuración, donde tengamos en cuenta todos los archivos anteriormente generados. Este archivo de configuración, es aquel que introduciremos en el propio programa SUMO. El archivo de configuración, es el siguiente (Figura 44).

```

1 <configuration>
2   <input>
3     <net-file value="mlg.net.xml"/>
4     <route-files value="rutas01.xml"/>
5   </input>
6   <time>
7     <begin value="0"/>
8     <end value="9000"/>
9   </time>
10 </configuration>
11

```

Figura 44. Archivo de configuración SUMO. Fte: Elaboración propia.

En este archivo establecemos nuestra red viaria, el archivo de rutas aleatorias que se ha generado previamente, y un tiempo (en segundos) de inicio y final, durante el cual se desarrollará nuestra simulación, en este caso se ha seleccionado un valor de 9000 segundos ya que es un tiempo suficiente para que todos los vehículos puedan realizar sus recorridos preestablecidos.

En base a dicha simulación, podemos obtener diferente información que nos es de gran utilidad, como es el caso de la contaminación. Para ello, creamos en primer lugar un archivo adicional de emisiones (Figura 45), como por ejemplo, adicional.xml.

```
1 <additional>
2   <edgeData id="NOx" file="emisionesNOx.xml"/>
3 </additional>
```

Figura 45. Archivo adicional.xml. Fte: Elaboración propia.

El archivo anteriormente editado lo añadimos al archivo de configuración que se había creado y se modifica de la siguiente forma (Figura 46).

```
1 <configuration>
2   <input>
3     <net-file value="mlg.net.xml"/>
4     <route-files value="rutas01.xml"/>
5     <additional-files value="adicional.xml"/>
6   </input>
7   <output>
8     <emission-output value="emissions.xml"/>
9     <netstate-dump value="rawdump.xml"/>
10  </output>
11  <time>
12    <begin value="0"/>
13    <end value="9000"/>
14  </time>
15 </configuration>
16
```

Figura 46. Archivo de configuración SUMO modificado. Fte: Elaboración propia.

Podemos ver que se han añadido como archivos de salida emissions.xml y rawdump.xml, los cuales, una vez realizando la simulación al completo, se nos proporcionarán (Figuras 47 y 48).

```

emissions.xml
25 <!-- emission-export xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/emission_file.xsd" -->
26 <!-- timestep time="0.00" -->
27 <!-- vehicle id="0" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="2624.72" CO="164.78" HC="0.81" NOx="1.20" PMx="0.07" fuel="1.13" electricity="0.00" noise="55.94" route="" -->
28 </!-- timestep -->
29 <!-- timestep time="1.00" -->
30 <!-- vehicle id="0" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="3364.52" CO="147.63" HC="0.75" NOx="1.50" PMx="0.08" fuel="1.45" electricity="0.00" noise="65.12" route="" -->
31 <!-- vehicle id="1" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="2624.72" CO="164.78" HC="0.81" NOx="1.20" PMx="0.07" fuel="1.13" electricity="0.00" noise="55.94" route="" -->
32 </!-- timestep -->
33 <!-- timestep time="2.00" -->
34 <!-- vehicle id="0" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="3890.91" CO="132.03" HC="0.69" NOx="1.70" PMx="0.08" fuel="1.67" electricity="0.00" noise="64.97" route="" -->
35 <!-- vehicle id="1" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="4005.83" CO="151.29" HC="0.78" NOx="1.79" PMx="0.09" fuel="1.72" electricity="0.00" noise="68.01" route="" -->
36 <!-- vehicle id="2" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="2624.72" CO="164.78" HC="0.81" NOx="1.20" PMx="0.07" fuel="1.13" electricity="0.00" noise="55.94" route="" -->
37 </!-- timestep -->
38 <!-- timestep time="3.00" -->
39 <!-- vehicle id="0" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="5088.13" CO="129.05" HC="0.71" NOx="2.21" PMx="0.10" fuel="2.19" electricity="0.00" noise="67.06" route="" -->
40 <!-- vehicle id="1" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="4922.48" CO="137.72" HC="0.74" NOx="2.16" PMx="0.10" fuel="2.12" electricity="0.00" noise="67.59" route="" -->
41 <!-- vehicle id="2" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="2955.05" CO="148.04" HC="0.74" NOx="1.32" PMx="0.07" fuel="1.27" electricity="0.00" noise="62.52" route="" -->
42 <!-- vehicle id="3" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="2624.72" CO="164.78" HC="0.81" NOx="1.20" PMx="0.07" fuel="1.13" electricity="0.00" noise="55.94" route="" -->
43 </!-- timestep -->
44 <!-- timestep time="4.00" -->
45 <!-- vehicle id="0" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="7234.49" CO="144.09" HC="0.83" NOx="3.16" PMx="0.15" fuel="3.11" electricity="0.00" noise="70.06" route="" -->
46 <!-- vehicle id="1" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="6850.00" CO="145.55" HC="0.83" NOx="3.00" PMx="0.14" fuel="2.94" electricity="0.00" noise="69.99" route="" -->
47 <!-- vehicle id="2" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="4075.99" CO="139.29" HC="0.73" NOx="1.80" PMx="0.09" fuel="1.75" electricity="0.00" noise="66.21" route="" -->
48 <!-- vehicle id="3" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="3791.44" CO="149.72" HC="0.77" NOx="1.69" PMx="0.08" fuel="1.63" electricity="0.00" noise="67.14" route="" -->
49 <!-- vehicle id="4" eclass="HBEFA3/PC_G_EU4" CO2="2624.72" CO="164.78" HC="0.81" NOx="1.20" PMx="0.07" fuel="1.13" electricity="0.00" noise="55.94" route="" -->
50 </!-- timestep -->

```

Figura 47. Archivo de emisiones.xml. Fte: Elaboración propia

```

rawdump.xml
25 <!-- netstate xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/netstate_file.xsd" -->
26 <!-- timestep time="0.00" -->
27 <!-- edge id="360301725#2" -->
28 <!-- lane id="360301725#2_0" -->
29 <!-- vehicle id="0" pos="5.10" speed="0.00"/ -->
30 </!-- lane -->
31 <!-- lane id="360301725#2_1"/ -->
32 </!-- edge -->
33 </!-- timestep -->
34 <!-- timestep time="1.00" -->
35 <!-- edge id="35980690#1" -->
36 <!-- lane id="35980690#1_0" -->
37 <!-- vehicle id="1" pos="0.20" speed="0.00"/ -->
38 </!-- lane -->
39 </!-- edge -->
40 <!-- edge id="360301725#2" -->
41 <!-- lane id="360301725#2_0" -->
42 <!-- vehicle id="0" pos="7.02" speed="1.92"/ -->
43 </!-- lane -->
44 <!-- lane id="360301725#2_1"/ -->
45 </!-- edge -->
46 </!-- timestep -->
47 <!-- timestep time="2.00" -->
48 <!-- edge id="72668243#0" -->
49 <!-- lane id="72668243#0_0" -->
50 <!-- vehicle id="2" pos="0.19" speed="0.00"/ -->
51 </!-- lane -->
52 </!-- edge -->
53 <!-- edge id="35980690#2" -->
54 <!-- lane id="35980690#2_0" -->
55 <!-- vehicle id="1" pos="1.74" speed="2.52"/ -->
56 </!-- lane -->
57 </!-- edge -->

```

Figura 48. Archivo rawdump.xml. Fte: Elaboración propia.

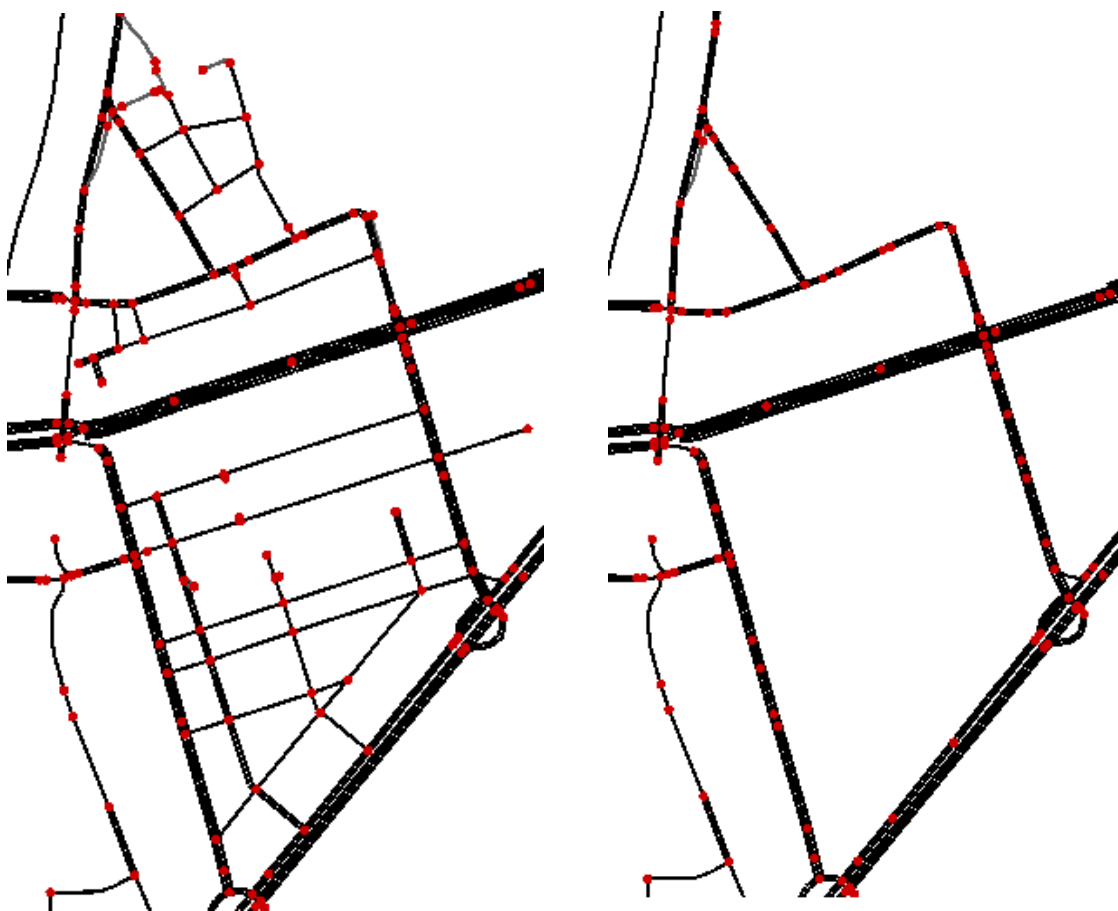
En base a estos archivos y utilizando un programa específico python, en este caso `mpl_dump_onNet`, se nos generarán archivos de contaminación de vehículos que podremos analizar con posterioridad. Para ello, se ejecuta el siguiente comando en el cmd de Windows:

`C:\Tutorialdos>python mpl_dump_onNet.py -n mlg.net.xml --values=speed,speed -d emisionesNOx.xml --size 3,3 --xlim 1,20000 --ylim 1,10000 -s join`

## 7.2 Segundo escenario.

Para el desarrollo del segundo escenario, se parte de la edición del archivo `mlg.net.xml` que se empleó para el primer escenario, mediante NetEdit. Dicha edición consiste en la peatonalización de diferentes calles de la zona Soho-Centro, para ello mediante NetEdit se han borrado de forma manual dichas calles, ya que así el programa no permitirá circular vehículos por dichas calles, al ser inexistentes después de la modificación.

A continuación, se muestra una comparativa entre la zona del Soho-Centro, antes de ser editada y después de haber realizado las modificaciones en el viario, mediante la peatonalización de diferentes calles mediante NetEdit (Figuras 49 y 50).



Figuras 49 y 50. Comparación entre zonas de Soho y Centro. Fte: Elaboración propia.

Una vez hemos editado las calles en NetEdit, los pasos posteriores son similares a los que se han realizado en el primer escenario, aunque se han realizado pequeños cambios como se muestran a continuación.

Se ha creado el archivo de vehículos, en el cual se definen las características de los mismos. El archivo, al igual que anteriormente, se ha declarado como vtype.xml (Figura 51), se han dejado los mismos valores que se establecían con anterioridad, aunque se ha modificado el de aceleración de los vehículos, pasando de 2.6 m/s a 3 m/s. Se ha aumentado para observar cómo se comporta la simulación con vehículos que aceleran más rápidamente.

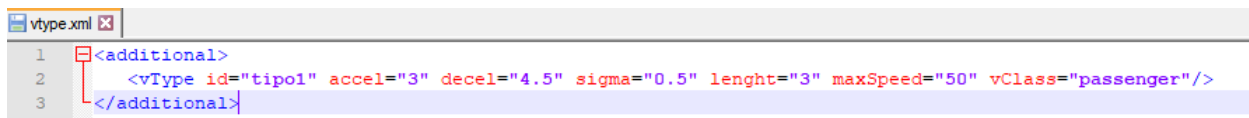


Figura 51. Archivo de tipo de vehículos. Fte: Elaboración propia.

Una vez creado el archivo de tipos de vehículos, ya se puede proceder a la creación del archivo de recorridos basándonos en el anterior, para ello, al igual que anteriormente empleamos el archivo RandomTrips.py, y establecemos el mismo código en el cmd, aunque en este caso el número de rutas se ha doblado, pasando de las 7500 que se establecían con anterioridad a 15000, con la finalidad de poder observar y analizar la circulación urbana, cuando se establecen un mayor número de rutas por vehículo.

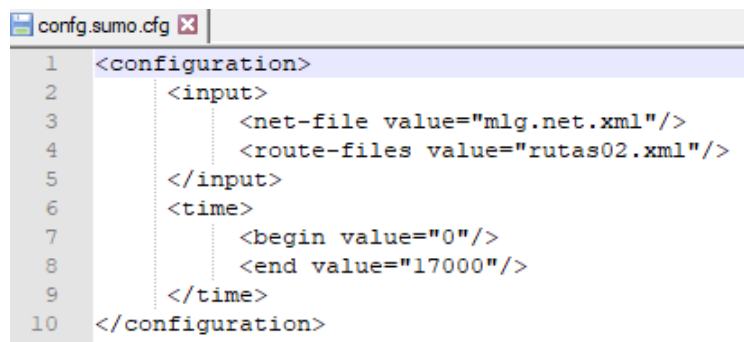
```
C:\Tutoriales>python randomTrips.py -n mlg.net.xml -o trips02.xml --trip-attributes="type=\"tipo1\""-e 15000
```

Una vez creado el anterior archivo, al igual que se hacía con anterioridad, se necesita un archivo de rutas que cuente con una mayor especificidad de las mismas, ya que el archivo anterior sólo nos mostraba el punto o nodo de inicio y el de final, y con este nuevo método se establece un trayecto de forma aleatoria a lo largo de toda la red viaria para cada uno de los vehículos que se han establecido anteriormente. Para su generación, se utiliza la herramienta DUAROUTER, que como bien se indicó anteriormente utiliza la ruta óptima entre el punto de inicio y el punto final del trayecto.

Para generarlo, en el cmd de Windows, escribimos el siguiente código:

```
C:\Tutoriales>duarouter -n mlg.net.xml -t trips02.xml -o rutas02.xml -d vtype.xml -s 15000
```

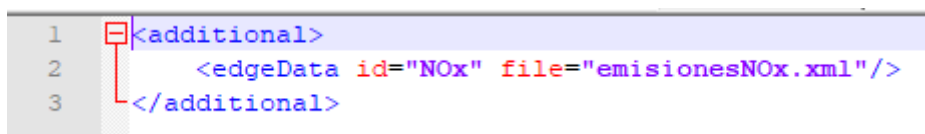
Una vez se ha obtenido el archivo anterior, ya podemos proceder a crear el archivo de configuración sumo (sumo.cfg) (Figura 52), en él establecemos el archivo sobre el que vamos a basar la simulación en este caso “mlg.net.xml”, las rutas utilizadas por los vehículos definidas por el archivo que se creó con anterioridad “rutas02.xml” y además establecemos un tiempo de inicio y final de la simulación, en este caso al haber un mayor número de vehículo (15000 segundos) y, por tanto, de rutas, este tiempo prácticamente se ha doblado hasta los 17000 segundos con la finalidad de que haya tiempo suficiente para realizar las rutas de todos los vehículos.



```
1 <configuration>
2   <input>
3     <net-file value="mlg.net.xml"/>
4     <route-files value="rutas02.xml"/>
5   </input>
6   <time>
7     <begin value="0"/>
8     <end value="17000"/>
9   </time>
10 </configuration>
```

Figura 52. Archivo de configuración sumo (sumo.cfg). Fte: Elaboración propia.

Posteriormente a la generación del archivo de configuración, con la finalidad de obtener un mapa de contaminación, se crea un archivo adicional de emisiones .xml (Figura 53).



```
1 <additional>
2   <edgeData id="NOx" file="emisionesNOx.xml"/>
3 </additional>
```

Figura 53. Archivo adicional de emisiones. Fte: Elaboración propia.

Una vez creado el archivo adicional, debemos de editar el archivo de configuración (figura 54), con la finalidad crear un mapa de contaminación.

```

1 <configuration>
2   <input>
3     <net-file value="mlg.net.xml"/>
4     <route-files value="rutas02.xml"/>
5     <additional-files value="adicional.xml"/>
6   </input>
7   <output>
8     <emission-output value="emissions02.xml"/>
9     <netstate-dump value="rawdump02.xml"/>
10  </output>
11  <time>
12    <begin value="0"/>
13    <end value="17000"/>
14  </time>
15 </configuration>

```

Figura 54. Archivo de configuración SUMO modificado. Fte: Elaboración propia.

Una vez tenemos el archivo de configuración modificado, procedemos a realizar la simulación completa, con la finalidad de que se generen los archivos emissions02.xml y rawdump02.xml.

Una vez generados los mismos, utilizando el programa específico python `mpl_dump_onNet`, se genera el archivo de contaminación de vehículos en forma de figura. Para ello, hay que ejecutar el siguiente código en el cmd de Windows.

```
C:\Tutorialdos>python mpl_dump_onNet.py -n mlg.net.xml --values=speed,speed -d
emisionesNOx.xml --size 3,3 --xlim 1,20000 --ylim 1,10000 -s join
```