



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO RODADO

Jimena Ortiz de Zúñiga Mingot

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid

Agosto 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO RODADO
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Jimena Ortiz de Zúñiga Fecha: 22/ 08/ 2022

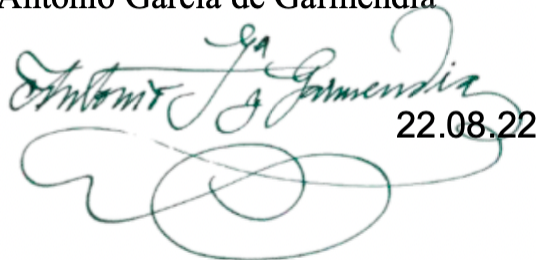


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Dr. Antonio García de Garmendia

Fecha: 22/ 08/ 2022





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO RODADO

Jimena Ortiz de Zúñiga Mingot

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid

Agosto 2022

Agradecimientos

Me gustaría transmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a lo largo de esta etapa.

En primer lugar, a mi director, por su dedicación y ayuda en la planificación y organización de este Trabajo de Fin de Grado.

En segundo lugar, a toda mi familia, por haber estado pendientes de mí. En particular, quiero darle las gracias a mi padrino y a mi padre, por su interés en el desarrollo del proyecto y por haberme ayudado en lo máximo posible.

También, a mis amigos y compañeros, por haberme apoyado a lo largo del trabajo y siempre haber sabido animarme para no darme por vencida.

Finalmente, quiero darle las gracias a mi hermano mayor, por haber estado ahí para mí cuando le necesitaba, y por haberme prestado su ayuda cuando era necesaria.

A todos, mil gracias.

Optimización de los sistemas de control del tráfico rodado

Autor: Jimena Ortiz de Zúñiga

Director: Dr. Antonio García de Garmendia.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Actualmente, los problemas relacionados con la congestión de tráfico siguen estando presentes en nuestro día a día y no se ha logrado resolverlos de una manera eficaz. Este Proyecto apuesta por la optimización de los ciclos semafóricos como posible solución. El Estudio se basa en el uso de la técnica de investigación operativa llamada optimización por nubes de partículas. Se busca conseguir una programación de ciclos semafóricos optimizados para conseguir una reducción significativa en el tiempo de espera y en el tiempo de viaje de los vehículos, además de un incremento considerable en el flujo vehicular saliente de las vías. Para la obtención de resultados, se usará el simulador de tráfico urbano SUMO.

Palabras clave: Programación de ciclos, semáforos, optimización por nubes de partículas, simulador de tráfico SUMO.

1. Introducción

Hoy en día, el tráfico se ha convertido en uno de los problemas principales con los que convive el ser humano. El uso del vehículo ha experimentado un crecimiento notable en las últimas décadas, y consecuentemente los atascos han aparecido. La congestión vehicular en las carreteras se traduce a accidentes, colas de espera, contaminación, vías sobre saturadas etc.

A lo largo de la historia se ha intentado abordar el problema desde distintos enfoques. Existe el enfoque en el que el principal objetivo es optimizar la red de tráfico, sin embargo, este planteamiento posee una gran desventaja y es el alto coste adicional que supone modificar una red de carreteras. Asimismo, se ha intentado variar las rutas de los vehículos de tal modo que el tránsito de vehículos por una determinada vía no quede saturado. Por otra parte, la perspectiva más utilizada hasta ahora se ha basado en optimizar los ciclos de los semáforos de manera que estos queden sincronizados y maximicen el flujo vehicular saliente de las intersecciones.

En este Proyecto se opta por el uso de este último enfoque. Este Proyecto se basa en un estudio en el que se realiza una codificación de ciclos optimizados semafóricos mediante el uso de la técnica de optimización por nubes de partículas. Primero se optimizan los ciclos y seguidamente, estos se simulan a través del simulador de tráfico urbano SUMO para evaluar su capacidad de optimización. Se realizará además un análisis de los resultados y se estudiará su viabilidad económica.

La estructura del proyecto es la siguiente:

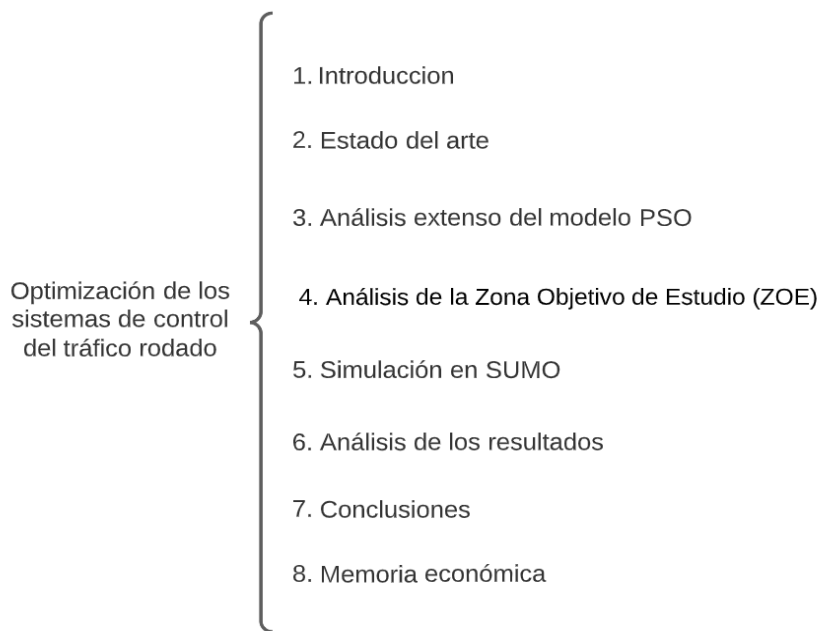


Figura 1: Estructura del Proyecto. Fuente: Elaboración propia, 2022.

2. Descripción del modelo de optimización

El modelo de optimización usado en este Proyecto proviene de un estudio¹ en el que se propone encontrar ciclos de colores óptimos a través de una metaheurística. La técnica en cuestión se denomina optimización por nubes de partículas o PSO (*Particle Swarm Optimization* en inglés) y es una metaheurística basada en la población. Esta es un algoritmo bioinspirado y proviene del comportamiento de las bandadas de aves.

Para la modelización del algoritmo, se genera inicialmente un cúmulo de partículas, cada ella representa una posible solución. Estas partículas se mueven por el espacio de búsqueda y van buscando el mejor resultado. Por eso mismo, cada partícula tiene una posición y una velocidad que se va actualizando en cada iteración. Tanto la velocidad como la posición dependen de la mejor solución encontrada. Por tanto, el movimiento de las partículas queda guiado por la partícula que ha encontrado la mejor solución por el momento. Al igual que ocurre con las aves, lo más lógico para ellas es seguir al ave que esté más cerca de la comida.

Como bien se ha mencionado anteriormente, cada partícula posee un vector posición y un vector velocidad. Asimismo, esta también tiene un vector mejor posición, en el que quedan registradas las mejores posiciones encontradas por la partícula. Para saber si las posiciones encontradas por la partícula son óptimas existe un valor de aptitud, que coincidiría con el valor que se obtiene al sustituir la posible solución en la función objetivo.

¹García Nieto J. et al, 2011.

En el caso de la optimización de los semáforos, cada partícula es considerada como un vector en el que vienen incluidas las duraciones de los ciclos semafóricos. Para la evaluación de cada partícula, se realiza una simulación en SUMO de la que se recogen los siguientes datos: tiempo de espera de los vehículos, tiempo de viaje, y número de coches que alcanzan su destino durante el tiempo de simulación. Seguidamente, estos datos se introducen en la siguiente función objetivo, que corresponde con el valor de aptitud de la partícula:

$$f = \frac{TV + TE + ND \cdot TS}{V^2} \quad \{1\}$$

Donde:

- TV es el tiempo medio de viaje en segundos.
- TS es el tiempo de simulación en segundos.
- ND es el número de vehículos que no alcanzan su destino en el tiempo de simulación.
- V es el número de vehículos que alcanzan su destino en el tiempo de simulación.
- TE es el tiempo de espera

En el siguiente diagrama de flujo se puede apreciar el comportamiento del algoritmo codificado en Python:

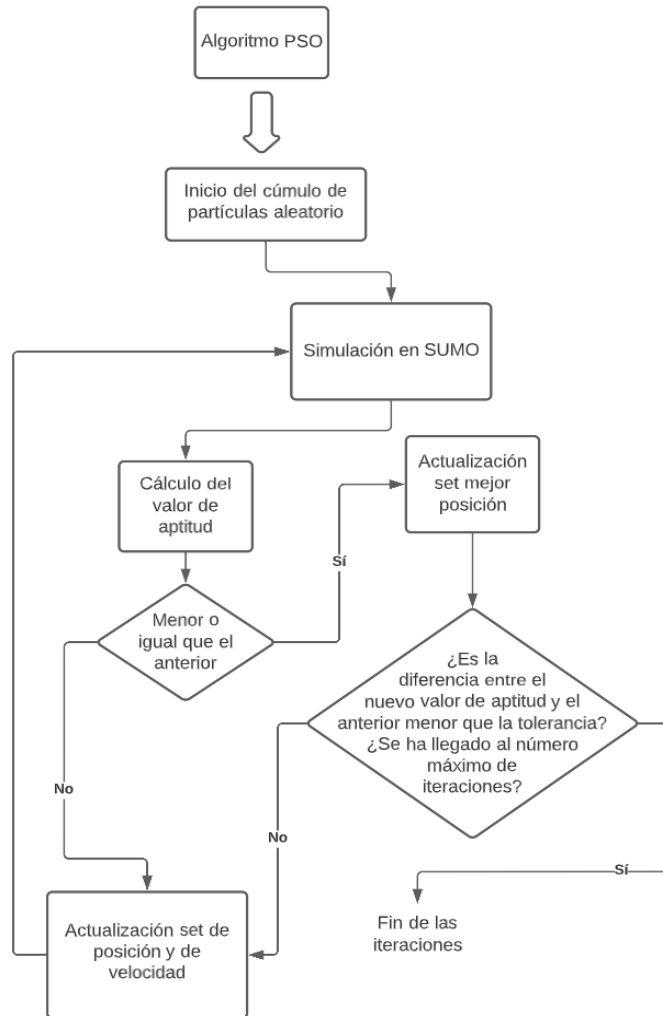


Figura 2: Diagrama de flujo del procedimiento del algoritmo PSO

Cabe destacar que, para la realización de la simulación, se tiene primeramente que diseñar una red de tráfico que en este caso consiste en un bloque de 2x2 manzanas de Madrid. Para este diseño se necesita codificar varios archivos en lenguaje XML. Y, además, para poder modificar los ciclos de los semáforos, se debe escribir un programa en lenguaje Python en el que esté descrito el algoritmo que sigue PSO.

3. Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos tras la optimización han sido muy satisfactorios. En la siguiente tabla resumen se pueden observar las distintas variables de la función objetivo, antes y después del proceso iterativo.

Variable	Valor inicial	Valor final	Variación
Número de coches que alcanzan su destino	114	239	52.03%
Tiempo de espera total	46781 s	18290 s	60.09%
Tiempo de viaje por vehículo	130 s	92 s	28.92%

Tabla 1: Resumen de los resultados del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Podemos concluir que el uso de la técnica de optimización por nubes de partículas ha sido un éxito. Los objetivos principales del proyecto se cumplen. Además, se ha redactado una memoria económica en la que se puede apreciar el impacto positivo económico que tendría la implantación de este sistema de control optimizado.

Author: Jimena Ortiz de Zúñiga.

Supervisor: Dr. Antonio García de Garmendia.

Collaborating Entity: ICAI – Pontifical University of Comillas

ABSTRACT

Currently, the problems related to traffic congestion are still present in our daily lives and have not been solved effectively. This Project bets on the optimization of traffic light cycles as a possible solution. The study is based on the use of the operational research technique called particle cloud optimization. The aim is to achieve a schedule of optimized traffic light cycles to achieve a significant reduction in the waiting time and travel time of vehicles, as well as a considerable increase in the outgoing vehicular flow of the roads. The SUMO urban traffic simulator will be used to obtain the results.

Keywords: Cycle programming, particle swarm optimization, traffic lights, SUMO simulator.

1. Introduction

Nowadays, traffic has become one of the main problems with which human beings coexist. Vehicle use has experienced a remarkable growth in the last decades, and consequently traffic jams have appeared. Vehicular congestion on the roads translates into accidents, queues, pollution, overcrowded roads, etc.

Throughout history, attempts have been made to tackle the problem from different approaches. There is the approach in which the main objective is to optimize the traffic network, however, this approach has a major disadvantage and that is the high additional cost of modifying a road network. Also, attempts have been made to vary vehicle routes in such a way that vehicle traffic on a given road is not saturated. On the other hand, the perspective most used so far has been based on optimizing traffic light cycles so that they are synchronized and maximize the flow of vehicles leaving intersections.

This project opts for the use of the latter approach. This project is based on a study in which a coding of optimized traffic light cycles is performed using the particle swarm optimization technique. The cycles are first optimized and then simulated using the SUMO urban traffic simulator to evaluate their optimization capacity. An analysis of the results will be carried out and their economic feasibility will be studied.

The structure of the project is as follows:

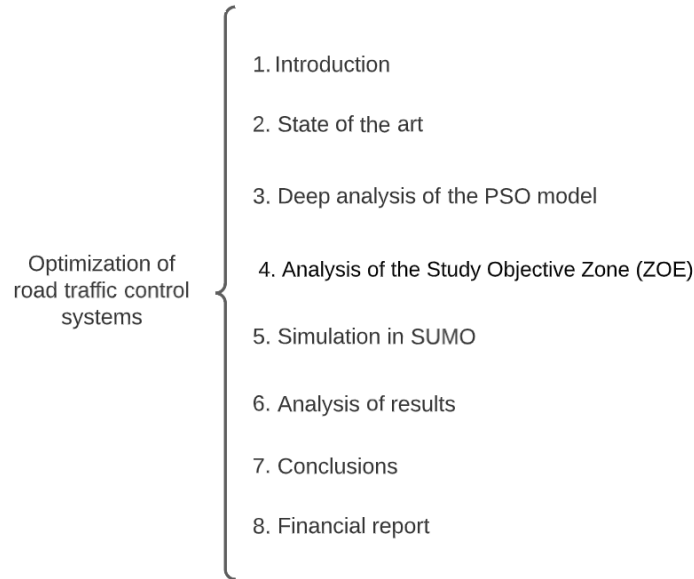


Figure 1: Project Structure. Source: Own elaboration, 2022.

2. Description of the optimization model

The optimization model used in this Project comes from a study in which it is proposed to find optimal color cycles through a metaheuristic. The technique in question is called Particle Swarm Optimization (PSO) and is a population-based metaheuristic. This is a bio-inspired algorithm and comes from the behavior of bird flocks.

For the modeling of the algorithm, a cluster of particles is initially generated, each particle representing a possible solution. These particles move through the search space and search for the best result. Therefore, each particle has a position and a velocity that is updated at each iteration. Both velocity and position depend on the best solution found. Therefore, the movement of the particles is guided by the particle that has found the best solution for the moment. As with birds, it makes the most sense for them to follow the bird that is closest to the food.

As mentioned above, each particle has a position vector and a velocity vector. Likewise, it also has a best position vector, in which the best positions found by the particle are recorded. To know if the positions found by the particle are optimal, there is a fitness value, which would coincide with the value obtained by substituting the possible solution in the objective function.

In the case of traffic light optimization, each particle is considered as a vector in which the durations of the traffic light cycles are included. For the evaluation of each particle, a simulation is performed in SUMO from which the following data are collected: waiting time of vehicles, travel time, and number of cars reaching their destination during the simulation time. These data are then fed into the following objective function, which corresponds to the fitness value of the particle:

$$f = \frac{TV + TE + ND \cdot TS}{V^2} \quad \{1\}$$

Where:

- TV is the mean travel time in seconds.
- TS is the simulation time in seconds.
- ND is the number of vehicles that do not reach their destination in the simulation time.
- V is the number of vehicles that reach their destination in the simulation time.
- TE is the waiting time

The following flowchart shows the behavior of the algorithm coded in Python:

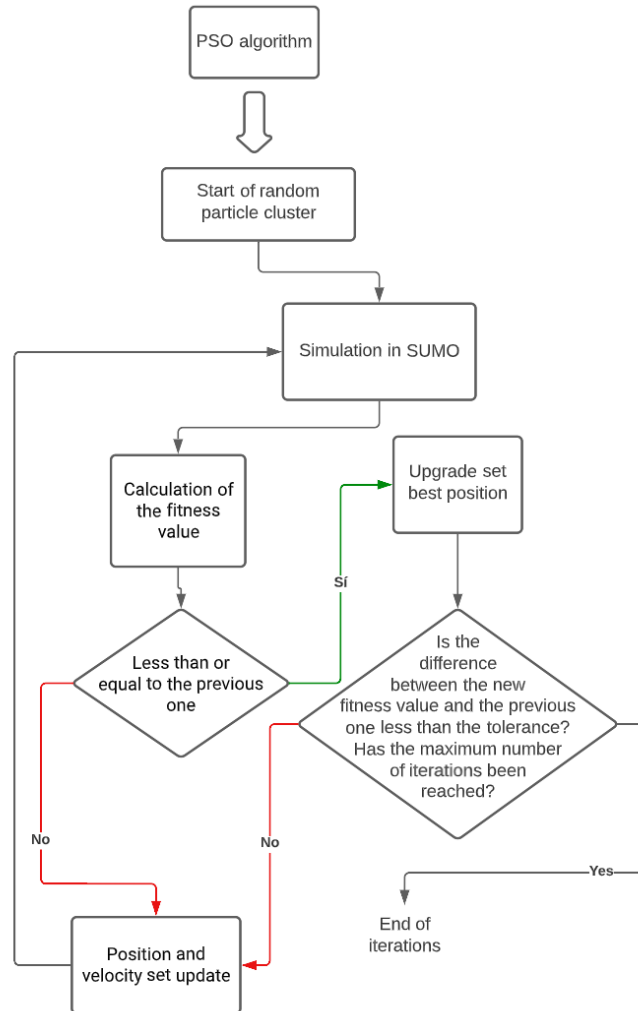


Figure 2: Flowchart of the PSO algorithm procedure

It should be noted that, to carry out the simulation, a traffic network must first be designed, which in this case consists of a block of 2x2 blocks of Madrid. For this design it is necessary to encode several files in XML language. In addition, to be able to modify the

traffic light cycles, a Python program must be written in which the PSO algorithm is described.

3. Results and conclusions

The results obtained after optimization have been very satisfactory. The following summary table shows the different variables of the objective function, before and after the iterative process.

Variable	Initial value	Final value	Variation
Number of cars that reach their destination	114	239	52.03%
Total waiting time	46781 s	18290 s	60.09%
Travel time per vehicle	130 s	92 s	28.92%

Table 1: Summary of the results of the PSO algorithm. Source: Own elaboration, 2022.

We can conclude that the use of the particle swarm optimization technique has been successful. The main objectives of the project have been met. In addition, an economic report has been drafted in which the positive economic impact that the implementation of this optimized control system is showed.



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO RODADO

Jimena Ortiz de Zúñiga Mingot

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid

Agosto 2022

Índice

Introducción	7
<i>Motivación del Proyecto.....</i>	<i>7</i>
<i>Estructura del Proyecto</i>	<i>8</i>
Estado del Arte	10
<i>Modelos fundamentales de optimización de los ciclos semafóricos</i>	<i>11</i>
<i>Modelos secundarios de optimización de los ciclos semafóricos</i>	<i>15</i>
<i>Conclusiones y fin del capítulo</i>	<i>20</i>
Análisis extenso del modelo PSO	22
<i>Una metaheurística como método de optimización</i>	<i>23</i>
<i>Introducción al algoritmo PSO.....</i>	<i>25</i>
<i>Descripción del algoritmo PSO</i>	<i>26</i>
<i>Tipos de algoritmo PSO</i>	<i>32</i>
<i>PSO como método de optimización del tráfico rodado</i>	<i>33</i>
<i>Codificación del algoritmo PSO</i>	<i>37</i>
<i>Conclusiones y fin del capítulo</i>	<i>39</i>
Análisis de la Zona Objetivo de Estudio (ZOE)	40
<i>Geometría de la ZOE</i>	<i>41</i>
<i>Intensidad media diaria de tráfico de la ZOE</i>	<i>44</i>
<i>Conclusiones y fin del capítulo</i>	<i>46</i>
Simulación en SUMO	47
<i>Introducción a SUMO y TraCI</i>	<i>48</i>
<i>Diseño de la red de tráfico.....</i>	<i>49</i>
<i>Parámetros del algoritmo PSO.....</i>	<i>51</i>
<i>Procedimiento del algoritmo PSO</i>	<i>53</i>
<i>Conclusiones y fin del capítulo</i>	<i>56</i>
Resultados de la simulación.....	57
<i>Análisis del movimiento individual de una partícula.....</i>	<i>58</i>
<i>Análisis del movimiento del cúmulo de partículas.....</i>	<i>62</i>
<i>Conclusiones y fin del capítulo</i>	<i>65</i>
Conclusiones del Proyecto y futuros desarrollos	66
<i>Conclusiones del algoritmo PSO</i>	<i>67</i>
<i>Futuros desarrollos.....</i>	<i>72</i>

Memoria económica	74
<i>Ahorro de combustible</i>	<i>75</i>
<i>Ahorro de tiempo</i>	<i>81</i>
ANEXO 1	83
<i>Código de las intersecciones.....</i>	<i>83</i>
<i>Código de las vías</i>	<i>84</i>
<i>Código de la red</i>	<i>85</i>
<i>Código de las rutas</i>	<i>103</i>
<i>Código de las rutas alternativas.....</i>	<i>116</i>
<i>Código de la configuración de la simulación en SUMO</i>	<i>139</i>
ANEXO 2	140
<i>Código del algoritmo PSO.....</i>	<i>140</i>
Bibliografía	145

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Representación gráfica del movimiento de una partícula. Fuente: Elaboración propia, 2022....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 2: Intersección Urbana. Fuente: Alamy, 2018</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 3: Programa de ciclos en un cruce. Fuente: García-Nieto et al, 2011.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 4: Código Algoritmo PSO. Fuente: García-Nieto et al, 2011.</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 5: Vista de la ZOE dentro del Barrio de Salamanca, Madrid. Fuente: GoogleMaps, 2022.</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 6: Vista de la ZOE en detalle. Fuente: GoogleMaps, 2022.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 7: Semáforos de la ZOE. Fuente: OpenStreetMap, 2022.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 8: Longitud de los bloques que conforman la ZOE. Fuente: GoogleMaps, 2022.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 9: Intensidad del flujo vehicular diaria en la intersección de la calle Castelló con la calle General Oraá. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 10: Diseño de la red de tráfico de la ZOE. Fuente: Elaboración propia, 2022.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 11: Diagrama de flujo del procedimiento del algoritmo PSO</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 12: Vehículos que alcanzan su destino a lo largo del algoritmo PSO con el ciclo de semáforos asociado a la partícula 0. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 13: Vehículos que alcanzan su destino a lo largo del algoritmo PSO con el ciclo de semáforos asociado a la partícula 11. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 14: Tiempo de espera de los vehículos a lo largo del algoritmo PSO con el ciclo de semáforos asociado a la partícula 0. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 15: Valor de aptitud de la partícula a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 16: Número de vehículos que alcanzan su destino a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 17: Tiempo de espera de los vehículos a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 18: Valor de aptitud de la posición de todas las partículas a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 19: Valor de aptitud de la mejor posición de todas las partículas a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 20: Número de Número de vehículos que alcanzan su destino al principio y al final de las iteraciones del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 21: Tiempo de espera de cada partícula al principio y al final de las iteraciones del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	<i>69</i>

Ilustración 22: Tiempo de viaje de cada partícula al principio y al final de las iteraciones del algoritmo PSO.

Fuente: Elaboración propia, 2022.71

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Desventajas de los tres modelos fundamentales de optimización de los ciclos semafóricos. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	14
<i>Tabla 2: Datos del flujo vehicular en la intersección de la calle Castelló con la calle de General Oraá. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	45
<i>Tabla 3: Parámetros de simulación y de PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	52
<i>Tabla 4: Tabla resumen de los resultados del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	72
<i>Tabla 5: Datos de los tiempos de viaje de las partículas antes y después de la optimización de los ciclos semafóricos. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	75
<i>Tabla 6: Tabla de las distancias equivalentes por vehículo de todas las partículas. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	77
<i>Tabla 7: Tabla del combustible ahorrado por vehículo. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	78
<i>Tabla 8: Tabla del ahorro económico por la reducción de combustible de cada vehículo. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	79
<i>Tabla 9: Tabla del ahorro económico por la reducción de combustible de todos vehículos. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	80
<i>Tabla 10: Tabla del ahorro económico por la reducción del tiempo de viaje de los vehículos. Fuente: Elaboración propia, 2022.</i>	82

Introducción

El uso de vehículos como medio de transporte ha experimentado un crecimiento notable desde las últimas décadas. Puesto que la red de tránsito sigue siendo la misma, problemas como la congestión del tráfico han aparecido. A día de hoy, los problemas relacionados con la congestión del tráfico siguen sin haberse resuelto y se sigue sin haber sido capaz de encontrar una solución óptima. Por ello, a lo largo del tiempo, se han desarrollado varios modelos matemáticos que reflejan el comportamiento del flujo vehicular y se ha estudiado cómo este podría ser maximizado.

Motivación del Proyecto

La motivación de este Proyecto viene dada por distintas razones. Principalmente, este Proyecto suscita un alto grado de interés porque los atascos son un problema que afecta a toda la población.

De manera directa nos afecta a la hora de conducir el propio vehículo, puesto que la congestión de tráfico se reduce a colas de espera, accidentes, y alto consumo de combustible, entre muchos otros. La seguridad vial es la razón primordial por la que el estudio de la optimización del libre tránsito de vehículos tiene que tener lugar.

De manera indirecta nos afecta de dos formas distintas. La primera es que la congestión de coches afecta a la economía de la ciudad debido al alto consumo de combustible. Consecuentemente, las emisiones de CO₂ también aumentan. Y mientras que la promulgación del uso de vehículos eléctricos es una realidad, un sistema eficaz de regulación de las señalizaciones semafóricas está lejos de nuestro alcance.¹

¹ Stolfi, 2012.

Los objetivos fundamentales de este proyecto son maximizar el flujo saliente vehicular, y también reducir tanto el tiempo medio de viaje por vehículo como reducir el tiempo de espera de estos. Este Proyecto se alineará con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible:

- Salud y bienestar general.
- Industria, innovación e infraestructuras
- Ciudades y comunidades sostenibles.
- Acción por el clima

Estructura del Proyecto

En este Trabajo se analizará la maximización del flujo vehicular a través del control de los ciclos de las fases de semáforos. El Proyecto se basa en un modelo de optimización ya desarrollado que permite regular los sistemas de control de tráfico de una ciudad de una manera óptima. En este caso, la técnica de investigación operativa utilizada se llama optimización por nubes de partículas y se basa en el comportamiento de las bandadas de aves. Se estudiará y analizará el modelo en cuestión, y se aplicará a una zona objetiva de estudio (ZOE) y se comprobará su capacidad de optimización. La estructura del Proyecto es la siguiente:

Primero, se hará una breve introducción al estado de la cuestión. Se comentarán los modelos de optimización más representativos que ha habido hasta ahora y el impacto que ha tenido.

Se realizará un análisis extenso de la técnica de investigación operativa escogida, optimización por nubes de partículas. Se estudiarán los distintos tipos que existen y asimismo cómo esta puede aplicarse para la optimización de los sistemas de regulación del tráfico rodado.

Seguidamente, se deberá escoger un área en la que aplicar el modelo de optimización y se llevará a cabo un análisis de esta. Se estudiará tanto la geometría de la red de tráfico como el número de señalizaciones en dicha zona.

Posteriormente se detallará el proceso que conlleva realizar la simulación en la zona objetivo de estudio. Para simular el modelo en el caso real, se usará el software de SUMO (*Simulation of Urban Mobility*, en inglés). Este es un software gratuito y de código abierto que permite el control de un flujo vehicular a escala microscópica. Primero, se indicarán los distintos archivos que tendrán que ser elaborados y seguidamente, se explicará en detalle la codificación del algoritmo de optimización por nubes de partículas.

Finalmente, se evaluarán los resultados obtenidos gracias a la simulación. Se elaborarán gráficas representativas del comportamiento del algoritmo que determinarán si este es eficaz para la optimización de los ciclos semafóricos.

Y por último, se valorará la variabilidad económica del Proyecto. Se determinará como sería de grande el impacto económico que supondría la optimización de los ciclos.

En el siguiente capítulo se empezará con el estado del arte.

Estado del Arte

El uso de vehículos como medio de transporte ha experimentado un crecimiento notable desde las últimas décadas. Puesto que la red de tránsito sigue siendo la misma, problemas como la congestión del tráfico han aparecido; dando lugar a altas colas de espera, accidentes, alto consumo de combustible y contaminación, entre muchos otros. La optimización del libre tránsito de vehículos lleva siendo un enigma desde la aparición de la congestión del tráfico. Este dilema ha sido enfocado por el ser humano desde distintas perspectivas. Se han ido elaborando desde sistemas de optimización del cálculo de rutas de los propios vehículos, hasta la optimización de la estructura de red de tránsito. Asimismo, hay quienes optaron por un modelo que optimizaba la sincronización de las fases de los semáforos. Debido a las limitaciones económicas y de espacio de hoy en día, el método más común para abordar este problema ha sido vía la sincronización de los ciclos semafóricos.

En este Trabajo se analizará la maximización del flujo vehicular a través del control de los ciclos de las fases de semáforos. En este capítulo del Proyecto primero se hablarán de las diferentes perspectivas de análisis que existen a la hora de optimizar los ciclos. Seguidamente, se comentarán los modelos más importantes y conocidos que ha habido hasta ahora y qué ventajas y desventajas poseen. Finalmente, se hará hincapié en ciertos modelos de estudio que destacan por el añadido de diferentes técnicas de investigación operativa más sofisticadas.

A la hora de aplicar las técnicas de investigación operativa para mejorar el tráfico rodado, se debe tener en cuenta que existen tres enfoques diferentes: microscópico, mesoscópico y macroscópico. El enfoque macroscópico analiza extensas redes de tráfico mediante los conceptos básicos de dinámica de fluidos. Es decir, el comportamiento del tráfico de una carretera se basa en la conversación del flujo vehicular. El enfoque mesoscópico, el cual es el menos común, estudia la red de tráfico a través del comportamiento de pelotones de coches. Y finalmente, el enfoque microscópico se realiza a través del estudio del movimiento de un coche singular. El enfoque más empleado hasta día de hoy ha sido el microscópico puesto que es el más sencillo, sin embargo, estudios recientes demuestran que el enfoque macroscópico, pese a su complejidad, presenta mejores resultados.

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado varios posibles modelos de optimización que mejoraban el libre tránsito de los vehículos en una red, siendo los más conocidos los siguientes: el modelo TRRB², el modelo ARRB³ y el modelo del *Highway Capacity Manual*⁴(HCM).

En el modelo TRRB, se demostraba que se podía disminuir el tiempo de espera de los vehículos en una intersección hallando un ciclo óptimo de fases. Este método utiliza los flujos de saturación en cada fase de dicha intersección, y así, determinaba un ciclo mínimo de funcionamiento. Se asumían distribuciones estadísticas para la llegada de cada coche, y se obtenía un tiempo mínimo de ciclo, cuya probabilidad impidiese que la mayoría de los coches esperasen en tal intersección¹. La longitud de ciclo mínimo la calculaba a través de la siguiente ecuación:

$$C_o = \frac{1.5L+5}{1-\sum_{i=1}^p Y_i} \quad \{1\}$$

² Webster, F. (1958)

³ Akcelik, R. (1981)

⁴ Transportation Research Board en Washington (2010)

Siendo:

C_o = Tiempo óptimo de ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

Y_i = Máximo valor de saturación entre el flujo actual y el flujo de saturación para la fase i .

φ = Número de fases.

Sin embargo, su trabajo presentaba menos precisión que otros. Esto se debe a que no se incluyó un factor que se ajustase a la demanda del momento. Es decir, el trabajo no encontraba soluciones óptimas cuando la vía se encontraba sobresaturada. Además cabe destacar que si el sumatorio de los flujos críticos de todas las fases es mayor que 1, la ecuación deja de ser aplicable. Aun así, el método TRRB ha sido una gran referencia desde entonces y la mayoría de trabajos asociados a la optimización de ciclos semafóricos se han basado en él, como por ejemplo el modelo de ARRB.

El modelo ARRB, al igual que el de TRRB, tiene un enfoque microscópico. Akcelik perfeccionó el modelo a través de un factor llamado el coeficiente de compensación de estacionamiento, que, combinado con el tiempo de espera de los vehículos, presentaba mejores tiempos de ciclos. La ecuación resultante quedaba de la siguiente manera:

$$C_o = \frac{(1.4+k)+6}{1-\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} \quad \{2\}$$

Donde K :

$$K = \begin{cases} 0 & \text{para minimizar demoras} \\ 0.2 & \text{para minimizar demoras y combustible} \\ 0.4 & \text{para minimizar combustible} \end{cases}$$

Aunque el modelo ARRB mejorase la precisión del método TRRB, este seguía presentando el mismo problema, y es que no estaba sujeto a los posibles cambios de demanda de la vía.

Por otro lado, se encuentra el modelo propuesto por el *Highway Capacity Manual*. Este manual, desde su primera publicación, ha sido usado como apoyo fundamental para controlar el tránsito de vehículos. Este también elaboró un modelo microscópico para la optimización de los ciclos y para la minimización del tiempo de espera de los coches en una intersección. A diferencia con los modelos mencionados anteriormente, su cálculo de ciclos si tenía en cuenta una variedad de estados de saturación. A pesar de ello, puesto que este se basaba en la saturación esperada, los resultados obtenidos no garantizaban un tiempo mínimo de espera. Este manual presenta la siguiente ecuación:

$$C = \frac{L}{1 - \left(\frac{\min(CS, RS)}{RS} \right)} \quad \{3\}$$

Donde:

C = Duración ciclo óptimo (s)

L = Tiempo perdido por ciclo (s/ciclo)

CS = Suma de los volúmenes críticos de tráfico de todas las fases

RS = Referencia del volumen total

La referencia del flujo vehicular total se calcula de tal forma:

$$RS = 1710 * PHF * fa \quad \{4\}$$

Donde:

PHF = Representa el factor de hora punta

F_a = representa el ajuste que se hace para el tipo de área estudiada (0.9 si es un distrito central de negocios y 1 en caso contrario).

Estos tres análisis son los más conocidos hasta ahora ya que han sido los más utilizados para modelar el tráfico. Sin embargo, cada uno tiene sus inconvenientes que pueden verse reflejados en la siguiente tabla:

Método	Inconvenientes
TRRB	No se ajusta a la demanda de la vía del momento
ARRB	A pesar de presentar mejores resultados que el anterior, no se ajusta a la demanda de la vía
HCM	Se basa en la demanda esperada por lo que los resultados no garantizan un tiempo mínimo de espera

Tabla 1: Desventajas de los tres modelos fundamentales de optimización de los ciclos semafóricos. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ahora se comentarán los diferentes modelos que han surgido más recientemente y se explicará como mediante el añadido de diferentes técnicas de optimización han conseguido mejores resultados.

Modelos secundarios de optimización de los ciclos semafóricos

Por las razones citadas previamente, el estudio de la optimización de los ciclos semafóricos sigue vigente y se sigue intentando perfeccionar. A medida que el tiempo ha ido avanzando, técnicas de optimización más sofisticadas se han empezado a utilizar, como el uso de algoritmos genéticos, la automatización celular, computación paralela, teoría de colas, recocido simulado etc. Asimismo, se han desarrollado modelos estadísticos que modelaban el comportamiento de flujo vehicular, y mediante dichos modelos, se calculaban los ciclos de fases que disminuían más significativamente las probabilidades de espera en una intersección.

Otra técnica utilizada es la programación matemática⁵ con restricciones de equilibrio para llegar a soluciones óptimas, que resultó ser muy útil para el análisis estratégico del tráfico. En este trabajo se considera una sola intersección con dos calles de doble sentido y semáforos a ambos lados. Primero, configura la intersección a través de un modelo que representa las colas en la intersección, el cual incluye, el número de coches que está esperando en función del tiempo, las tasas medias de llegada y de salida, y los tiempos de conmutación de los semáforos. Seguidamente, tras hacer algunas asunciones para simplificar el modelo, constituyen una función objetivo que minimiza el tiempo de espera en la intersección, siendo esta la siguiente:

$$J = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{\int_{t_0}^{t_N} l_i(t) dt}{t_N - t_0} \quad \{5\}$$

Donde:

W_i = factor de peso, se le da un valor según la importancia que tenga el carril en cuestión. Es decir, si se quiere priorizar por ejemplo, el carril 1 y el 3, sería $w_1=w_3=2$ mientras que $w_2=w_4=1$.

$Li(t)$ = representa el modelo de colas citado anteriormente dependiente del tiempo.

N = longitud de la secuencia de tiempos de conmutación

⁵ De Schutter. B, De Moor, B. (1998). Ordenes, J. Tirachini, A (2017). Lang, C-J. (2004)

A esta función objetivo se le añaden restricciones como tiempos mínimos de duración de fases, longitudes de colas máximas etc. El sistema resultante acaba siendo un problema de complementariedad lineal extendido que es resuelto mediante el desarrollo de un algoritmo que calcula una descripción paramétrica del conjunto completo de soluciones óptimas.

Este método ha dado pie a otros numerosos modelos. En este caso destaca un estudio⁶ que mediante el añadido de una combinación de técnicas como la optimización a través del recocido simulado y el uso de un algoritmo determinístico tipo quasi-Newton, obtenían resultados muy eficaces. Este algoritmo es una metaheurística que se basa en la búsqueda de soluciones eficientes a través de un proceso más o menos intuitivo. Cabe decir que al usar un algoritmo determinístico de tipo metaheurística, las soluciones pueden ser buenas pero no siempre tienen que ser las óptimas.

Por otra parte, el recocido simulado es una técnica de investigación operativa muy utilizada en el ámbito de la optimización del tráfico rodado. Es un algoritmo que proviene del enfriamiento de un material. Este método se utiliza en la industria para incrementar la resistencia de un cierto material. Primero se eleva la temperatura del dicho material hasta que este se derrita y su configuración atómica cambie, en este mismo instante la energía del material es máxima. Seguidamente, la temperatura del material se va reduciendo en distintas etapas, asegurándose de que en cada etapa los átomos queden en equilibrio. De este modo los átomos del material son reacondicionados de una forma más compacta y más resistente. El material resultante posee resistencia máxima y energía mínima. Las leyes de la termodinámica establecen que a una determinada temperatura T , el incremento de energía es el siguiente:

$$P(\Delta E) = e^{-\frac{\Delta E}{k_B * T}} \quad \{6\}$$

⁶ Fernandez. L, *et al* (2008)

Donde:

ΔE = incremento de energía

K_B = constante de Boltzmann

T = Temperatura del sistema

Para saber si la configuración de átomos está siendo satisfactoria, se genera una perturbación aleatoria en el sistema y se calculan los incrementos de energía. Si hay una caída de energía quiere decir que la configuración de átomos está más compacta, mientras que si hay un incremento, este cambio se acepta con una probabilidad dada por la ecuación anterior. Este proceso se repite varias veces mientras que la temperatura va descendiendo hasta que finalmente el material se enfríe.

El recocido simulado, aplicado como técnica de investigación operativa, es un algoritmo de búsqueda metaheurística para problemas de optimización global, donde la energía equivale a la función de coste, los estados del sistema a las soluciones factibles, y la temperatura al parámetro de control.

Combinando estas técnicas, en este estudio se define un algoritmo básico de recocido de tal modo que dada una solución inicial se realizan numerosas iteraciones hasta llegar a una óptima.

Seguidamente, otro modelos a notar⁷, optimizaban los ciclos de los semáforos de forma adaptativa. Se usan diferentes técnicas con el fin de elegir una combinación de duraciones del ciclo semaforico que da lugar a un mayor rendimiento de la red de tráfico. Destaca porque utiliza técnicas no determinísticas, estando enfocada la búsqueda de soluciones óptimas en torno a un mínimo global en vez de local.

Analiza una red de N nodos, donde los nodos representan intersecciones. Primeramente desarrolla un modelo matemático representativo del tráfico de forma matricial en el que están incluidas las características de la red y las fases de los semáforos. Seguidamente, desarrolla un metodología basada en los siguientes 3

⁷ Sánchez. J, *et al* (2008). Sarmiento, I. Jiménez, M (2011)

pilares: una multicomputadora MIMD de tipo cluster *Beowulf*, un algoritmo genético y un simulador de tráfico microscópico.

La multicomputadora MIMD es un conjunto de máquinas que funcionan de manera independiente y de forma paralela. Y es utilizado principalmente debido a la complejidad del problema resultante. El uso del algoritmo genético es un acierto, ya que, como se ha mencionado anteriormente, es una técnica no determinística que resulta altamente conveniente para problemas de optimización con un espacio de búsqueda tan grande como este.

Tras varias simulaciones, propone finalmente como criterio maximizar el número de vehículos que habrían conseguido abandonar la red en el tiempo de simulación, es decir, maximizar el número de coches que “llegan a su destino”. Para ello, busca minimizar el tiempo medio en la red de cada vehículo. Finalmente, los resultados los introduce en un simulador de tráfico microscópico que desarrolla compuesto por autómatas celulares y comprueba que los resultados obtenidos maximizan el flujo saliente de vehículos. Pese a su complejidad, este estudio es extraordinario.

Por otra parte, existen varios modelos⁸ notables que hacen del uso de la teoría de colas o en la conservación del flujo vehicular para llegar a un modelo matemático representativo del flujo vehicular. Destaca un proyecto⁹ en el que se elabora un modelo del comportamiento del tráfico basándose en la conservación del flujo vehicular y en la utilización de colas deterministas del flujo del tráfico; dando lugar a un sistema finito de ecuaciones diferenciales no ordinarias. Se desarrolla un modelo de colas deterministas del flujo del tráfico, de tal modo que el tráfico en cada intersección es considerado como una cola. En el modelo, la oferta y demanda de una cola se definen en función del diagrama fundamental de la intersección, y sus flujos de entrada y salida se calculan a partir de las funciones del flujo de unión que provienen de las reglas macroscópicas de fusión y divergencia. Se demuestr2004)a

⁸ Wenlong, J. (2013). Loiseau, I. (2007). Li, H et al (2004)

⁹ Wenlong, J. (2013)

que el modelo está bien definido y que se puede considerar como una aproximación continua a el modelo de ondas cinemáticas en una red de carreteras. El modelo final es un sistema dinámico finito cuya dimensión equivale al número total de tramos de la red

Este estudio realmente no busca optimizar el tráfico sino representarlo matemáticamente, de ahí su importancia, ya que ha dado pie a otros proyectos. Un análisis¹⁰ importante que parte de este, consigue resultados óptimos a través del añadido de la técnica de recocido simulado mencionada anteriormente, en las que a su vez añaden nuevas variables como la duración de los ciclos de los semáforos. De esta manera logran maximizar el flujo vehicular saliente de las todas las intersecciones.

Igualmente, el problema de optimización de los ciclos semafóricos se puede resolver desde un enfoque estadístico. Dentro de los análisis¹¹ realizados mediante la estadística, destaca un trabajo¹² en el que se hace uso de una aproximación estadística de las variables inciertas basándose en la función del tiempo de retardo del *Highway Capacity Manual*, para llegar a una distribución estadística de la variabilidad de la demanda. Este estudio examina como debería de escogerse la duración de un ciclo semafórico, si debería ser largo o corto o ninguno de los anteriores. Se utiliza una aproximación estadística para minimizar el tiempo de retardo medio. Para simplificar el análisis, se considera el escenario de una sola intersección y además, se considera que los ciclos de los semáforos son fijos. La idea es seleccionar un tiempo medio de ciclo que sea óptimo para minimizar el tiempo de retardo y que a su vez sea adecuado para la mayoría de variaciones de la demanda.

Se propone utilizar una función expectativa para cuantificar la variabilidad de la demanda en la función de retardo del HCM. Todas las variables inciertas se consideran aleatorias con sus respectivas distribuciones, medias y varianzas,

¹⁰ Dominguez, P., Cortínez, V. (2016)

¹¹ Han.L, Li,J. (2007). Yao, W *et al* (2015)

¹² Han.L, Li,J. (2007)

calculadas tras una previa recolección de datos. Puesto que la función de retardo depende de variables de entrada, el tiempo de retardo resultante también tendrá las características de las variables de entrada. Se propone estudiar la distribución probabilística de la demanda de tal modo que se pueda escoger un ciclo óptimo que por lo menos sea adecuado para el 95% de las veces. La ecuación resultante para optimizar el tiempo de ciclo es estrictamente convexa por lo que se puede resolver numéricamente. Usan el modelo de simulación de Monte Carlo para llegar a las soluciones. Este estudio está realizado desde una perspectiva interesante, no obstante, para que la aproximación a un modelo estadístico sea fiable, la recolección de datos tiene que ser extensa.

Conclusiones y fin del capítulo

Los modelos explicados previamente son unos pocos que destacan entre los muchos que se han desarrollado. Cabe decir que las técnicas utilizadas más comunes de optimización hasta ahora han sido el recocido simulado, la programación matemática y el uso de algoritmos genéticos. Además, nótese que la mayoría de los modelos poseen un enfoque microscópico. El enfoque microscópico es el más usado puesto que es el más fácil de analizar de los tres que hay, siendo el macroscópico el más complejo.

El modelo¹³ en el que se va a enfocar este Proyecto propone una estrategia de optimización mediante la cual, una metaheurística puede encontrar programas de ciclos de colores optimizados. El algoritmo PSO (Particle Swarm Optimization, y en español, optimización por nube de partículas) ha sido menos utilizado en el ámbito de la optimización del tráfico rodado, y han demostrado que su uso como técnica para perfeccionar el libre tránsito de vehículos ha sido un acierto.

Utilizan un algoritmo PSO, el cual desarrolla una rápida convergencia a soluciones de calidad. Cada solución se codifica mediante la posición de una partícula, teniendo en cuenta velocidad y aceleración. Para evaluar dichas

¹³ García Nieto. J *et al* (2011)

soluciones, utilizan el software SUMO, que permite la simulación de tráfico a nivel microscópico. Este programa tiene como entrada el programa de ciclos para una determinada instancia de un área urbana y devuelve los valores de adecuación de dicho programa. El estudio es evaluado en dos ciudades distintas: Málaga y Sevilla.

Primero recolectan datos del flujo vehicular y de los ciclos semafóricos de ambas ciudades, para así poder comparar el modelo actual de funcionamiento de los semáforos tanto de Málaga y Sevilla, con el modelo calculado de ciclos optimizados. Este análisis me llama personalmente la atención ya que está aplicado a dos zonas urbanas específicas.

El objetivo de este Trabajo es analizar este modelo (PSO) y verificar su capacidad de adaptación a casos reales. Se recopilarán datos del flujo vehicular de la zona objetivo de estudio (ZOE).

En el siguiente capítulo, se realizará un estudio profundo del modelo escogido (PSO). Primero se abarcará una investigación enfocada al entendimiento del método de optimización de nubes de partículas. Seguidamente, se detallarán los pasos a seguir del modelo, se determinarán las variables a utilizar y se identificará la relación entre ellas.

Análisis extenso del modelo PSO

A lo largo de la vida del ser humano se presentan diferentes problemas que debemos resolver, desde problemas que se pueden solucionar con una lógica básica hasta problemas que debido a su complejidad requieren el uso de ordenadores. Es por ello, que en el ámbito de la ingeniería se han desarrollado diferentes métodos para plantear posibles soluciones.

Uno de los principales objetivos de la ingeniería es resolver estos problemas mediante el uso de métodos exactos. Sin embargo, debido a la complejidad del problema, y a las posibles complicaciones que pueden ir surgiendo como lo es la limitación del tiempo para resolver el problema, existen los métodos heurísticos.

En una primera instancia, en este capítulo se aclarará en que consiste una metaheurística como técnica de investigación operativa. Seguidamente se realizará un análisis profundo del método por optimización de nube de partículas. Y finalmente, se explicará cómo esta técnica de investigación operativa puede ser utilizada para optimizar el libre tránsito de vehículos.

Como bien se ha mencionado anteriormente, para la resolución de cálculos que presentan una dificultad alta, los ingenieros han desarrollado una gran diversidad de métodos que pueden dividirse en métodos exactos y en técnicas más bien aproximadas.

Los métodos exactos son lo que garantizan una solución óptima. Serían la técnica idónea si no fuese por la cantidad de tiempo requerida para computarlos. Cuanto más complejo el problema, más tiempo de resolución es necesario. Hay problemas que pueden llegar a tardar en resolverse meses, o incluso años, de ahí que las técnicas aproximadas apareciesen.

Las técnicas aproximadas son mejores en el sentido de que pueden llegar a resolver problemas de alta complejidad en un tiempo mucho más pequeño. Sin embargo, tienen el inconveniente de que no siempre consiguen llegar a la mejor solución. Es decir, se consigue llegar a soluciones buenas de calidad, pero esto no significa que siempre sean las óptimas. Las técnicas de aproximación se han ido desarrollando en las últimas décadas y se pueden distinguir tres grupos principales: métodos constructivos, métodos de búsqueda local y metaheurísticas. En esta primera parte del capítulo se explicará brevemente en qué consiste una metaheurística.

Una metaheurística es una técnica aproximada de resolución de problemas que está constituida por un conjunto de métodos heurísticos. Es decir, una metaheurística es un conjunto de conceptos que se pueden aplicar generalmente a diversos problemas y que a su vez se puede adaptar a problemas específicos mediante unos cambios mínimos. La metaheurística integra diversos procedimientos de mejora local y realiza una búsqueda robusta de resultados casi óptimos en todo el espacio que constituyen todas las posibles soluciones.¹⁴ Para evitar convergencia a resultados menos óptimos, en los últimos años se han ido

¹⁴ Gómez, Manuel (2008).

incorporando estrategias específicas, sobre todo cuando se trata de espacios de búsqueda complejos y muy amplios, como lo es en el caso de la optimización de los semáforos.

Una metaheurística, en general, se caracteriza por ser una estrategia de optimización que guía el proceso de búsqueda. El objetivo principal es encontrar soluciones suficientemente buenas en un período corto de computación. A este método además se le pueden incorporar diferentes técnicas para incrementar la eficiencia de los resultados. Y para comprobar la fiabilidad de los resultados, se utilizan funciones de bondad que cuantifican el grado de adecuación de dichas soluciones. Asimismo, cabe destacar que el procedimiento de cualquier metaheurística es siempre general, es decir, no depende del tipo del problema.

Las metaheurísticas se pueden dividir en distintas categorías dependiendo en el criterio que escojas. Estas pueden ser clasificadas basándose en su naturaleza (algoritmos bioinspirados), en si tienen memoria o no, o en si su función objetivo es estática o dinámica, etc. El criterio utilizado más habitual es si utiliza un único punto del espacio de búsqueda o trabaja sobre un conjunto o población. Según este criterio las metaheurísticas se dividen en las basadas en trayectoria y en las basadas en población.¹⁵

Un ejemplo de metaheurística basada en trayectoria es la técnica de recocido simulado mencionada en el capítulo anterior. Estas técnicas parten de un punto inicial y se van aproximando a soluciones de calidad siguiendo un proceso específico. La búsqueda finaliza cuando se alcanza un número máximo de iteraciones y se encuentra un resultado de buena calidad, o cuando se detecta un estancamiento en el proceso.

En cuanto a metaheurísticas basadas en la población, estas trabajan en un espacio de búsqueda en el que los individuos de la población representan todas las soluciones. La fiabilidad de los resultados depende principalmente de la interacción

¹⁵ Moreno, José (2004)

entre los individuos de la población, de ahí que la forma en la cual manipulas la población en cada iteración sea el aspecto más importante de esta metaheurística.

La optimización por nubes de partículas (*particle swarm optimization* en inglés, PSO), también conocida por enjambre de partículas, consiste en una metaheurística basada en la población que hace referencia al comportamiento de las partículas en la naturaleza. Este algoritmo bioinspirado está fundamentado en el comportamiento social de las bandadas de ave y en el movimiento de los bancos de peces. En la siguiente parte del capítulo se realizará una explicación en más detalle del algoritmo PSO.

Introducción al algoritmo PSO

Como bien se acaba de explicar en el anterior capítulo, la optimización por nubes de partículas es una metaheurística basada en la población. Asimismo, es un algoritmo bioinspirado basado en el comportamiento de las bandadas de ave y en el movimiento de los bancos de peces.

La optimización por nubes de partículas es un término más bien reciente que apareció por primera vez en 1995. Esta técnica fue desarrollada por dos científicos¹⁶. Introducen un nuevo método de optimización para funciones objetivo continuas no lineales mediante el estudio del comportamiento social de ciertos individuos, como lo son las aves y los peces.

Describen el algoritmo de la siguiente forma: cada individuo que convive en una sociedad tiene una propia opinión que puede ir variando según el conocimiento del entorno, su memoria y la memoria del vecindario, es decir, la memoria del resto de individuos. Los individuos adaptan su opinión de tal modo que se semeja lo máximo posible a la opinión de los vecinos más exitosos. Por ejemplo, en el caso de

¹⁶ Kennedy, J.; Eberhart, R. (1995) Indianapolis, EEUU.

las bandadas de aves que van en busca de comida, lo más lógico para las aves es seguir al ave que esté más cerca de la comida.

Para la modelización del algoritmo, cada ave es considerada como una partícula con una solución en el espacio de búsqueda que está siempre en continuo movimiento y que nunca llega a desaparecer. Estas partículas se mueven por el espacio de búsqueda y buscan la mejor solución. De esta forma, el movimiento de las partículas queda guiado por la partícula que ha encontrado la mejor solución por el momento.

El algoritmo PSO presenta las siguientes características:

- Los agentes de búsqueda intercambian información de forma que las partículas ajustan su dirección de movimiento a la mejor solución.
- Es un algoritmo que tiene memoria. Se ajustan nuevas direcciones a cada agente de búsqueda en función de la experiencia previa de las otras partículas, es decir, se decide su nueva dirección de búsqueda según la mejor posición por la que se pasó anteriormente.
- La población (la suma de individuos) se inicializa de forma aleatoria y va cambiando con cada iteración.
- La búsqueda es siempre a soluciones óptimas.
- Posee una rápida convergencia a soluciones de calidad.
- La búsqueda se basa únicamente en la función objetivo
- PSO no crea nuevas partículas, sino que va modificando la dirección de las que ya existen.

Descripción del algoritmo PSO

El algoritmo PSO se codifica mediante la estructura de las partículas. Una partícula queda definida mediante tres vectores distintos y dos valores de bondad con respecto al problema en cuestión. El primer vector se trata de la posición de la

partícula, el segundo es la velocidad y el tercero constituye las mejores posiciones encontradas.¹⁷

Quedarían descritos de la siguiente forma:

⇒ Vector posición: Almacena la posición actual de la partícula

$$x_i = \{x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \dots, x_{i,N}\} \quad \{7\}$$

⇒ Vector velocidad: Almacena la dirección de búsqueda

$$v_i = \{v_{i,1}, v_{i,2}, v_{i,3}, \dots, v_{i,N}\} \quad \{8\}$$

⇒ Vector mejor posición: Almacena la mejor posición encontrada por la partícula por el momento.

$$y_i = \{y_{i,1}, y_{i,2}, y_{i,3}, \dots, y_{i,N}\} \quad \{9\}$$

Los valores de aptitud o bondad son dos, y se definen para la posición de la partícula y para la mejor posición encontrada. Quedan descritos de la siguiente manera:

⇒ Valor de aptitud de la posición: guarda el valor de adecuación de la posición actual del vector x_i . Denominado como *alpha* (α)

⇒ Valor de aptitud de la mejor posición encontrada: guarda el valor de adecuación de la mejor solución encontrada por el momento del vector y_i . Queda denominado como *beta* (β).

¹⁷ Gómez, Manuel (2008).

Una vez quedan definidos los valores de bondad y los tres vectores, se procede a realizar el siguiente proceso:

El primer paso es generar la nube de partículas en cuestión, es decir, generar el espacio de búsqueda en el que se contemplan todas las soluciones. En una primera instancia, esta nube queda normalmente generada de forma aleatoria, no obstante, hay veces en las que se opta por generarla de una forma controlada o una combinación de las mismas.

Después de establecer la nube de partículas, se debe definir el vector de velocidad de los agentes de búsqueda (las partículas). Este se genera de forma aleatoria de manera que todas las velocidades generadas quedan comprendidas en un intervalo que va desde una velocidad mínima hasta una velocidad máxima. Cabe destacar que no es recomendable fijarlas a 0.

Seguidamente, se calculan los valores de aptitud de cada partícula y se actualiza tanto la bondad de la posición (α) como la bondad de la mejor posición (β).

Una vez ya queda todo lo anterior definido empiezan las iteraciones. En cada iteración, las partículas se mueven desde una posición concreta del espacio de búsqueda a otra, de ahí que el vector de posición quede actualizado en cada iteración. Este se actualiza mediante el vector velocidad, es decir, al vector x_i {7}, se le suma el vector velocidad v_i {8} resultando en un nuevo vector x_i . Y puesto que el vector x_i cambia, el valor de aptitud α también lo hace, por lo que se calcula de nuevo en cada iteración.

Ahora, el nuevo valor de aptitud de la posición se debe comparar con el anterior. En el caso de que este sea mejor, se actualiza el vector de mejor posición y_i {9} y a su vez también se actualiza el valor de bondad de la mejor posición β . Claro que, para llegar a resultados diferentes, hay que ir variando el vector velocidad de cada partícula. Este es el vector más importante del que depende el algoritmo PSO.

Para definirlo en cada iteración, se deben tener en cuenta dos distintas componentes, una cognitiva y una social.

El modelo matemático resultante son las siguientes ecuaciones¹⁸:

$$V_i^t = w^{t-1} \cdot v_i^{t-1} + U[0, \varphi_1] \cdot (p_i - x_i^{t-1}) + U[0, \varphi_2] \cdot (b_p - x_i^{t-1}) \quad \{10\}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad \{11\}$$

Para $i = 1, 2, 3, \dots, P$

Donde:

- x_i^t es el vector posición de la partícula i en la iteración t .
- v_i^t es el vector velocidad de la partícula i en la iteración t .
- ω^t es el factor de inercia en la iteración t .
- $U[0, \varphi_k]$ con $k \in 1, 2$ son los pesos que controlan los componentes cognitivo y social, que se explicarán más adelante.
- p_i es la mejor solución personal encontrada por la partícula durante su proceso, es decir, la mejor posición que ha encontrado dicha partícula.
- b_p representa la posición de la partícula con el mejor valor de aptitud encontrada en un vecindario de P partículas .
- P es el número de partículas que componen la nube.

Entonces, en cada iteración t se actualiza la velocidad y la posición de cada partícula i . Nótese que en la ecuación 4, la primera componente es la velocidad de la partícula i en la iteración $t-1$, es decir, en la iteración anterior a la actual, por lo que podemos decir que el algoritmo PSO posee memoria.

¹⁸ García Nieto, José (2006).

El intervalo $U[0, \varphi_k]$ es un número generado aleatoriamente entre el 0 y el peso máximo cognitivo o social que le quieras dar a ese factor. De esta forma, el peso de las componentes va variando en cada iteración.¹⁹

El componente cognitivo y social hacen referencia a la decisión que tomará la partícula i en dicho momento. El componente cognitivo depende únicamente de la propia experiencia de la partícula i , en otras palabras, es la diferencia entre la mejor posición encontrada por dicha partícula y la posición en la que se encuentra. En la ecuación 10 es el factor: $U[0, \varphi_1] \cdot (p_i - x_i^{t-1})$.

Por otra parte, la componente social se debe entonces solamente a la influencia del resto de partículas que recibe la partícula para tomar la decisión. Por tanto, es la diferencia entre la mejor posición encontrada hasta el momento (de cualquier partícula) y la posición actual de la partícula i . En la ecuación 10 es el factor: $U[0, \varphi_2] \cdot (b_p - x_i^{t-1})$.

Para una mejor comprensión del movimiento de una partícula i , se ha elaborado el siguiente esquema:

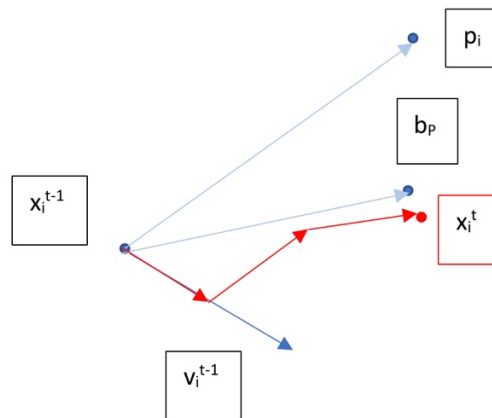


Ilustración 1: Representación gráfica del movimiento de una partícula. Fuente: Elaboración propia, 2022.

¹⁹ Duarte, César (2010)

Siendo:

- x_i^{t-1} la posición de la partícula i en la iteración $t-1$.
- v_i^{t-1} el vector velocidad de la partícula i en la iteración t .
- p_i la mejor posición encontrada por la partícula i hasta el momento que posee la mejor solución.
- b_p la posición con el mejor valor de aptitud.
- x_i^t la posición de la partícula i en la iteración t .

La técnica PSO entonces depende en gran mayoría sobre el componente de la velocidad. Para obtener un mejor rendimiento del algoritmo, es conveniente que el vector velocidad no sea de gran tamaño, es por ello que se limita la velocidad máxima del vector y se va reduciendo progresivamente en cada iteración.

Nótese, que en la ecuación 4, el vector velocidad es multiplicado por un factor de inercia w . Este factor de inercia se va reduciendo gradualmente también en cada iteración, y queda definido como²⁰:

$$w^t = w_{max} - \frac{w_{max}-w_{min}}{t_{max}} \cdot t \quad \{12\}$$

Siendo:

- ω_{max} el factor de inercia inicial.
- ω_{min} el factor de inercia final.
- t_{max} el número de iteraciones máximo.
- t el número de iteración actual.

Cabe destacar que el tamaño de la nube de partículas posee una gran influencia sobre el algoritmo PSO. Este determina el equilibrio que hay entre la calidad de los resultados obtenidos y el número de iteraciones requeridas para llegar a soluciones de calidad.

²⁰ Gómez, Manuel (2008)

Por último, es necesario recalcar que la interacción entre los agentes de búsqueda que conforman la nube de partículas depende también del entorno en el que se encuentran. Se pueden distinguir dos entornos: geográfico y social.

En un entorno geográfico se calculan las distancias entre la partícula estudiada y el resto, por lo que el entorno de la partícula lo componen las que estén más cercanas a ella.

En un entorno social, se definen primeramente un listado de partículas vecinas, y esta elección no depende de la posición en el que se encuentren las partículas, por lo que no siempre son las más cercanas. Este entorno suele ser el más utilizado. Asimismo, se puede dar el caso en el que entorno es tanto geográfico como social. Esto implica que el tamaño del entorno conforma toda la nube de partículas.

A continuación, se hablará de los distintos tipos de algoritmo PSO que puede haber según distintos factores.

Tipos de algoritmo PSO

Dependiendo de distintos factores, el algoritmo PSO puede recibir distintas clasificaciones. Este se puede dividir según el peso que se le dé a las componentes social y cognitiva y a su vez se puede clasificar según el vecindario utilizado para las iteraciones²¹.

Si clasificamos el algoritmo PSO según los pesos de la componente social y cognitiva, tendremos los siguientes casos:

- PSO completo: $\varphi_1, \varphi_2 > 0$. Se tienen en cuenta ambas componentes.
- PSO cognitivo: $\varphi_1 > 0, \varphi_2 = 0$. Solo se tiene en cuenta la componente cognitiva.
- PSO social: $\varphi_1 = 0, \varphi_2 > 0$. Solo se tiene en cuenta la componente social.

²¹ Amat, Joaquín (2019).

- PSO social exclusivo: $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 > 0$ y $b_p \neq x_i$. En este tipo se añade la condición de que la mejor posición encontrada del entorno no puede ser la de la propia partícula.

Ahora bien, el algoritmo PSO también puede ser clasificado según el tipo de vecindario utilizado. Es decir, según la cantidad y cercanía de las partículas que intervienen en el cálculo de la componente social. Se tienen los siguientes casos:

- PSO local: Se calcula la diferencia entre la posición de la partícula estudiada y la mejor posición encontrada de su entorno.
- PSO global: Se calcula la diferencia entre la posición de la partícula estudiada y la mejor posición encontrada de toda la nube.

En el siguiente apartado, se explicará cómo se puede aplicar este sencillo algoritmo en la optimización de los ciclos semafóricos.

PSO como método de optimización del tráfico rodado

Para poder aplicar este algoritmo como método de optimización de los ciclos semafóricos hay que realizar previamente unos cuantos cambios. Imaginemos la siguiente intersección:



Ilustración 2: Intersección Urbana. Fuente: Alamy, 2018

Los semáforos se encargan de regular el flujo vehicular de las carreteras a través de los ciclos de colores. En una misma intersección, todos los semáforos son gobernados por el mismo programa de ciclos. Es por ello que el principal objetivo del modelo en el que se enfoca este Proyecto es optimizar los ciclos de colores de los semáforos.

Para codificar los ciclos, se crea un vector de números enteros en el que cada componente representa la duración de fase del ciclo del semáforo²².

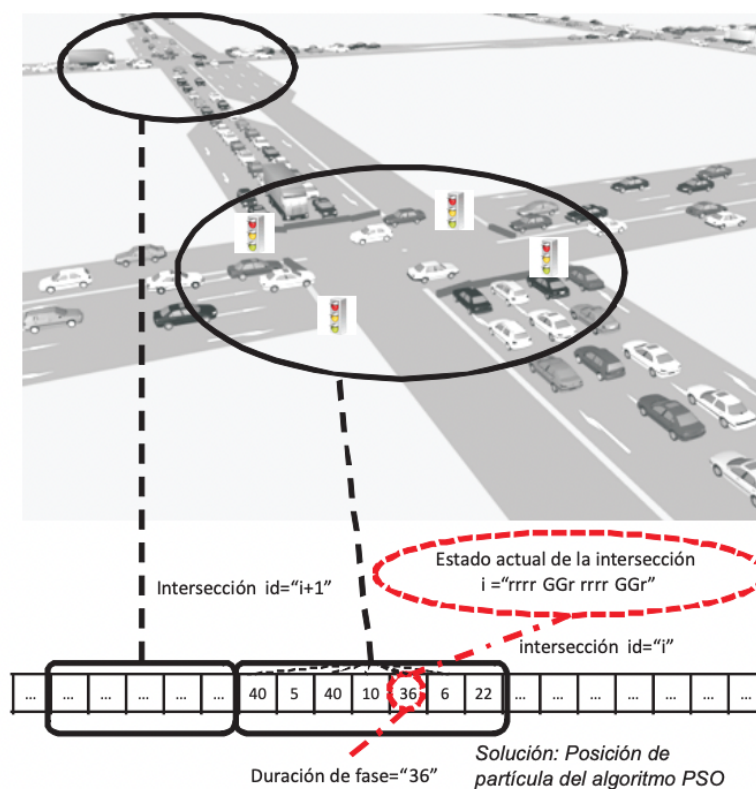


Ilustración 3: Programa de ciclos en un cruce. Fuente: García-Nieto et al, 2011.

La estrategia utilizada en el modelo de estudio (MDE), es codificar el vector mediante una serie de números enteros positivos siguiendo la estructura del simulador del tráfico urbano SUMO.

El resultado final es un vector que representa las duraciones de ciclos de todos los semáforos de una determinada zona urbana. Es decir, cada componente del

²² García-Nieto, José et al (2011).

vector de ciclos contiene la duración en segundos del tiempo que permanecen los semáforos en un mismo estado de luz/color.

Este vector será equivalente al vector posición del algoritmo PSO. De forma que se irá actualizando en cada iteración para obtener así un vector de los ciclos que presentan mejores resultados de aptitud.

Una vez este vector queda codificado, definen la función objetivo a minimizar que evaluará el programa de ciclos obtenido. Esta equivale al valor de aptitud/bondad descrito anteriormente. En el MDE definen el valor de bondad de la siguiente forma:

$$f = aptitud = \frac{TV+TE+ND \cdot TS}{V^2+P} \quad \{7\}$$

Donde:

- TV es el tiempo medio de viaje en segundos.
- TS es el tiempo de simulación en segundos.
- ND es el número de vehículos que no alcanzan su destino en el tiempo de simulación.
- V es el número de vehículos que alcanzan su destino en el tiempo de simulación.
- TE es el tiempo de estado del semáforo del momento
- P es la proporción de estados del semáforo

En esta función objetivo se maximiza el número de vehículos que llegan a su destino dentro del tiempo de simulación, de ahí que esté elevado al cuadrado, para así darle prioridad sobre los demás términos que conforman la función de bondad. De la misma forma se minimiza tanto el tiempo medio de viaje de los vehículos como el número de vehículos que no llegan a su destino dentro del tiempo de simulación. Ahora se explicará brevemente los diferentes tiempos de la función objetivo.

El tiempo medio de viaje (TV) se calcula como la suma de todos tiempos de cada coche de viaje, y por consecuente, en caso de que los vehículos no lleguen a su destino a tiempo, su tiempo medio de viaje será igual al tiempo de simulación.

El tiempo de estado del semáforo (TE) es una variable importante ya que dependiendo en el estado en el que se encuentre el semáforo, este añadirá o no tiempo de viaje a cada vehículo. Este proviene del cálculo de los programas de ciclos optimizados.

Asimismo, una proporción balanceada de tiempos de luz verde y de luz roja es necesaria. Lo ideal es que la proporción promocióne semáforos en luz verde en vías donde el flujo vehicular es mayor, y por tanto, donde la vía se encuentre menos saturada los semáforos se encuentren en un estado de luz roja. De esta manera la proporción de estados P queda definida con la siguiente ecuación:

$$P = \sum_{k=0}^N \sum_{i=0}^{pf} d_{k,i} \cdot \frac{v_{k,i}}{r_{k,i}} \quad \{13\}$$

Siendo:

- N el número de intersecciones que conforman la zona.
- pf el número de estados.
- $v_{k,i}$ el número de semáforos en verde en el estado i en la intersección k.
- $r_{k,i}$ el número de semáforos en rojo en el estado i en la intersección k.
- $d_{k,i}$ la duración de fase del estado i en la intersección k.

Nótese que es necesario establecer al menos un semáforo en rojo en cada estado y en cada intersección para evitar la división por 0.

Debido al que programa de ciclos de los semáforos se codifica mediante el uso de números naturales, en el MDE utilizan una función de cuantificación. Esta función convierte las variables discretas a continuas. La función es la siguiente:

$$Q(x) = \Delta \cdot \left[\frac{x}{\Delta} + 0.5 \right] \quad \{14\}$$

Esta se aplica a cada partícula y básicamente consiste en un cuantificador Mid-Thread, con inicialmente $\Delta=1$.

A continuación se detallará el código desarrollado en el modelo de estudio para llegar a soluciones de calidad.

Codificación del algoritmo PSO

En esta parte del capítulo se dará a conocer el código desarrollado por el MDE para la ejecución de la técnica PSO. Seguidamente, se detallará la función que posee cada línea de código escrito. Para la codificación de este, en el MDE se basan en el PSO desarrollado específicamente por el libro Estándar PSO 2007.

En la siguiente figura se puede observar el código que describe el algoritmo:

Algoritmo 1 Estándar PSO 2007 para OCP

```

1: inicializaCúmulo()
2: while  $g < \text{maxIteraciones}$  do
3:   for partícula  $x_g^i$  do
4:      $b_g^n = \text{mejorVecino}(x_g^i, n)$ 
5:      $v_{g+1}^i = \text{actualizaVel}(w, v_g^i, x_g^i, \varphi_1, p_g, \varphi_2, b_g^n)$ 
6:      $x_{g+1}^i = Q(\text{actualizaPos}(x_g^i, v_{g+1}^i))$ 
7:      $\text{evalúa}(x_{g+1}^i)$ 
8:      $p_{g+1}^i = \text{actualiza}(p_g^i)$ 
9:   end for
10: end while

```

Ilustración 4: Código Algoritmo PSO. Fuente: García-Nieto et al, 2011.

A continuación se detalla la función de cada línea:

La primera de línea de código representa la inicialización de la nube de partículas. La función *inicializaCúmulo()* genera aleatoriamente un espacio de búsqueda en el que se encuentran distintas posibles duraciones de ciclos de los semáforos. Estas duraciones de fases necesariamente tienen que estar comprendidas en un intervalo que incluya duración mínima y máxima de fase. En el caso del MDE, deciden fijar estos límites en 5 y 60 segundos máximos de duración. Este intervalo constituye el rango de periodos temporales en los que un semáforo puede mantener un determinado color (rojo o verde, ya que el estado de amarillo debe ser constante).

En la segunda línea de código, empieza ya el proceso iterativo con un número máximo de iteraciones g en el que hasta que no se alcance dicho número se seguirán calculando nuevas posibles duraciones de ciclos.

En la siguiente línea empieza la evaluación individual de cada partícula. La función *mejorVecino(x_g^i, n)* devuelve la mejor partícula encontrada en un vecindario de n partículas seleccionada aleatoriamente, es decir, b_p . Las líneas 5 y 6, calculan la nueva posición y velocidad de la partícula mediante el uso de las ecuaciones 4 y 5 descritas anteriormente.

Seguidamente, en la línea 7 se evalúan las distintas duraciones de fases obtenidas. Primeramente, una vez quedan calculadas las duraciones de ciclos, estas son valoradas mediante una simulación microscópica del tráfico en el programa de SUMO. En otras palabras, la simulación se utiliza para asignar un valor cuantitativo de adecuación (bondad) a las soluciones codificadas en las partículas para un determinado escenario urbano. Este simulador funciona a modo de caja negra en el que se introducen las distintas duraciones de fases y devuelve los datos del tráfico. Es decir, una vez quedan valorados los nuevos ciclos, se obtienen tiempos medios de viaje, número de coches que llegan al destino, etc. De esta forma, se obtienen datos de todas las variables que constituyen la función de bondad. Así cada vez que el algoritmo PSO genere un nuevo programa de ciclos optimizados, este será evaluado a través del simulador. Es preciso señalar que las rutas de los vehículos en SUMO son calculadas de forma determinista por lo que cada evaluación de una

solución requiere una simulación. Cada programa de ciclos se carga estáticamente en cada simulación, o sea, en cada iteración.

Conclusiones y fin del capítulo

En este capítulo se ha dado a conocer como una metaheurística basada en la naturaleza puede llegar a ser utilizada como una técnica de investigación operativa para optimizar el libre tránsito de vehículos. Es evidente que antes de poder utilizar dicha metaheurística como método de optimización del tráfico rodado se ha de adaptar al problema en cuestión.

Como bien se ha mencionado anteriormente, la variable considerada como la posición de la partícula es tratada como una duración de fase de un semáforo. De este modo, se busca las duraciones de fase con el mejor valor de bondad, que equivale a los mejores resultados que optimizan nuestra función objetivo. La función objetivo depende de valores como el tiempo medio de viaje de los vehículos y el número de vehículos que no llegaban a su destino. En este caso, se busca maximizar el número de vehículos que sí llegaban a su destino, y por ello, esta variable se encontraba elevada al cuadrado.

En el siguiente capítulo del Proyecto se realizará un análisis profundo de la zona objetivo de estudio (ZOE). Se estudiará tanto la geometría de la red de tráfico como el número de señalizaciones en dicha zona. Para luego finalmente poder simular los programas de ciclos optimizados.

Análisis de la Zona Objetivo de Estudio (ZOE)

En este capítulo se llevará a cabo un análisis profundo de la zona a simular. El objetivo principal es dar a conocer la geometría del área en cuestión, además de destacar las características que posee esta como zona de tráfico urbano. En estas características están incluidos el número de intersecciones que conforman el área, el número de semáforos que hay regulando el tráfico, además de la intensidad media diaria del paso de los vehículos.

Seguidamente, se realizará un breve estudio de los datos recogidos del flujo vehicular. En este, se observará la intensidad de coches que circulan de media en un día en la zona. Se harán distinciones entre las horas del día para así poder destacar los tiempos en el día en los que el flujo vehicular es máximo.

Geometría de la ZOE

La zona objetivo de estudio se encuentra en la localidad de Madrid, en España. Específicamente, esta zona está ubicada en el barrio de Salamanca, con una latitud de 40.10° y una altitud igual a -3.48° .

En la siguiente imagen se puede ver el área en concreto que se va a simular:

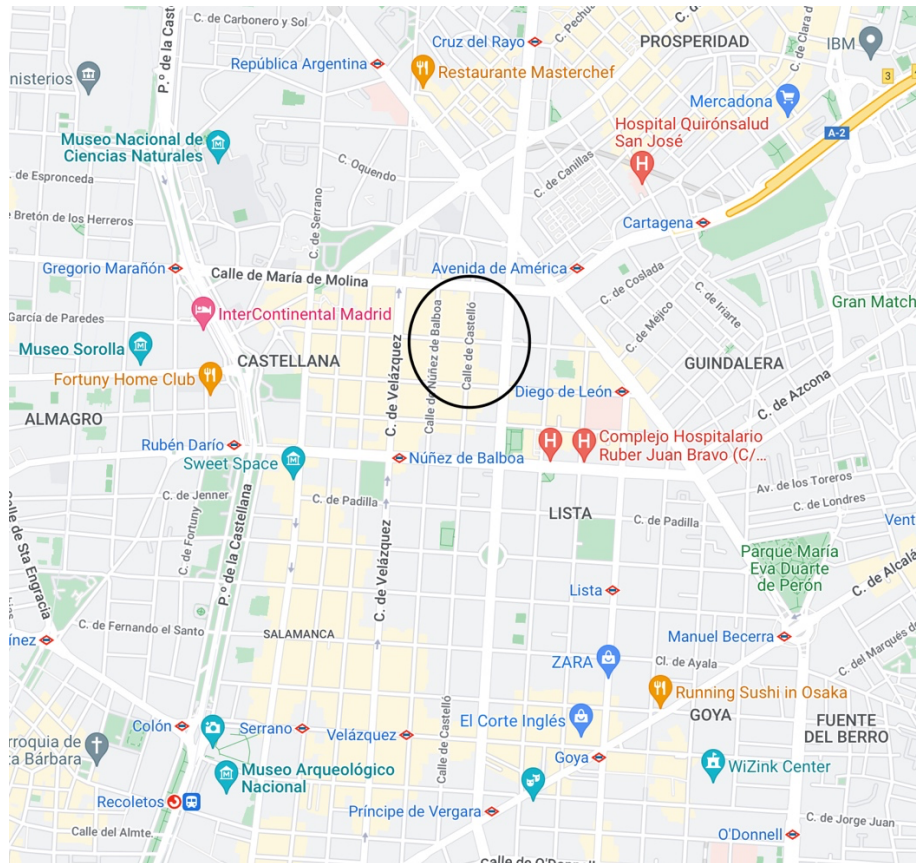


Ilustración 5: Vista de la ZOE dentro del Barrio de Salamanca, Madrid. Fuente: GoogleMaps, 2022.

Cómo se puede observar en la foto, la ZOE consiste en un bloque de dos por dos manzanas y está delimitada por cuatro calles distintas. Por el norte, esta se encuentra delimitada por la calle María de Molina, una calle de doble sentido que posee 3 carriles para cada sentido. La delimitación este viene dada por la calle Príncipe de Vergara, la cual también es de doble sentido y posee tres carriles de

circulación para cada sentido. Sin embargo, dentro de estos 6 carriles de circulación, dos están destinados al servicio público de transporte, por lo que no serán incluidos en la estructura de la simulación, ya que este Proyecto solo contempla la circulación de vehículos particulares. Por el lado oeste, se encuentra la calle Núñez de Balboa como delimitación, esta es de un único sentido (sentido de Norte a Sur) y tiene un solo carril de circulación. Y finalmente, la delimitación sur viene dada por la calle Diego de León, la cual posee 5 carriles, tres para el sentido este-oeste y dos para el sentido contrario. Al igual que ocurre con la calle Príncipe de Vergara, dentro de los tres carriles destinados a la circulación sentido este-oeste, se encuentra un carril designado para el transporte público, por lo que tampoco será incluido en la estructura de la simulación. En la siguiente imagen se puede apreciar más detalladamente la ZOE:

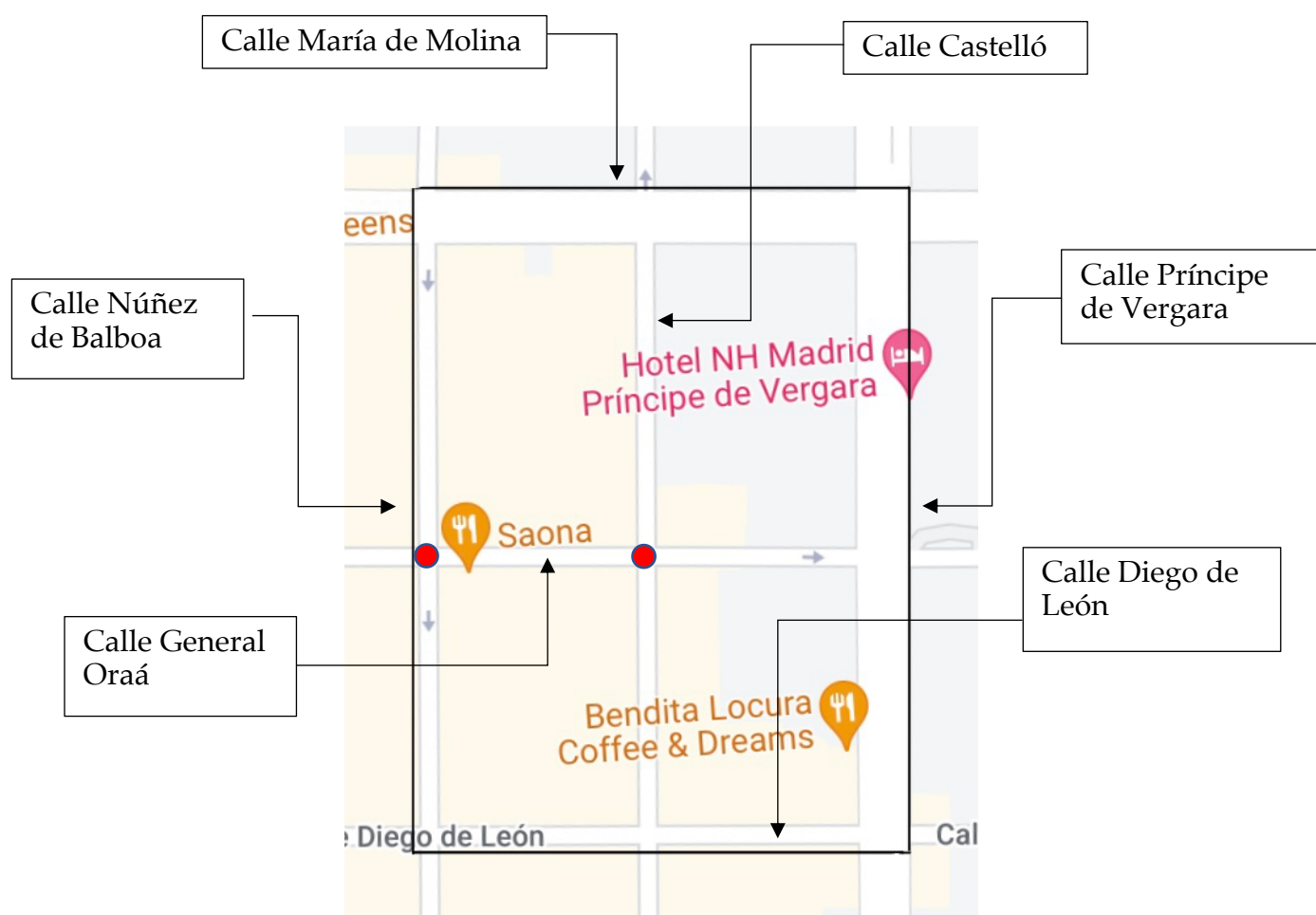


Ilustración 6: Vista de la ZOE en detalle. Fuente: GoogleMaps, 2022.

Las calles perpendiculares a las delimitaciones son la calle de General Oráa y la calle de Castelló, es decir, cada una de estas calles divide la ZOE en dos partes iguales conformadas por dos bloques. La ZOE en total tiene 9 intersecciones.

En cuanto al número de semáforos, las dos intersecciones marcadas con un punto rojo en la figura anterior no son reguladas por semáforos. La circulación de estas se basa simplemente en que el coche que circule por la calle de General Oráa tiene prioridad de paso frente al resto de coches.

En la siguiente figura se pueden apreciar el número de semáforos que hay en cada intersección.



Ilustración 7: Semáforos de la ZOE. Fuente: OpenStreetMap, 2022.

En total esta posee 25 semáforos.

Cabe destacar que los bloques poseen las siguientes medidas de longitud²³:

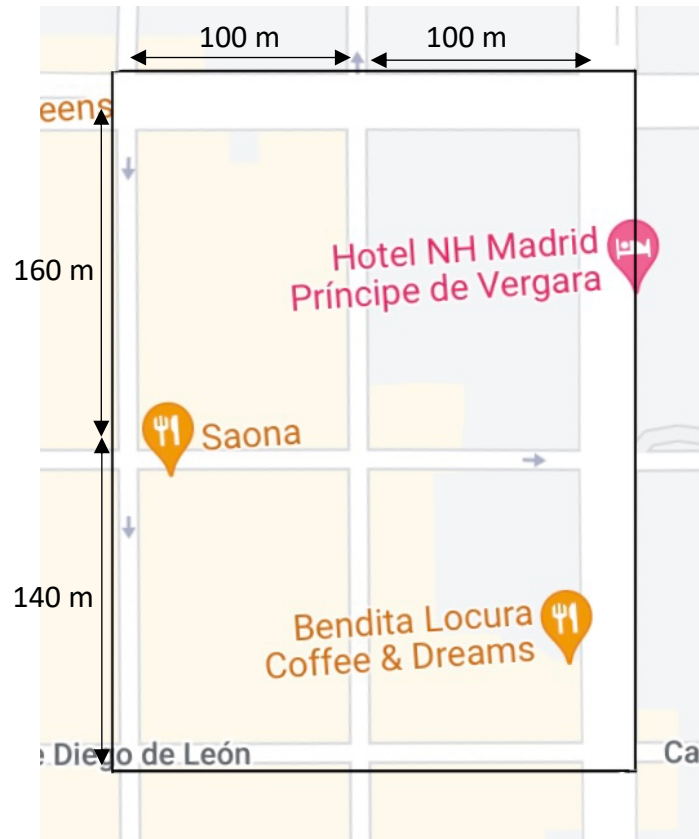


Ilustración 8: Longitud de los bloques que conforman la ZOE. Fuente: GoogleMaps, 2022.

Por lo que aproximadamente, el área a simular tiene un valor de 0.06 km².

Intensidad media diaria de tráfico de la ZOE

Para poder realizar la simulación del tránsito de vehículos de una manera más realista, se han tomado datos del flujo vehicular. En este caso, se tomaron datos en cinco horas distintas de un mismo día. Se contaron cuántos coches circulaban cada cinco minutos, exactamente en la intersección de la calle Castelló con la calle General Oraá.

²³ GoogleMaps, 2022.

En la siguiente tabla quedan reflejados los datos recogidos:

Hora	vehículos/5min	vehículos/min
11:00	33	6.6
13:00	42	8.4
15:30	34	6.8
18:00	22	4.4
20:30	17	3.4

Tabla 2: Datos del flujo vehicular en la intersección de la calle Castelló con la calle de General Oraá. Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la siguiente gráfica se puede apreciar los cambios en el flujo a medida que el día avanza.

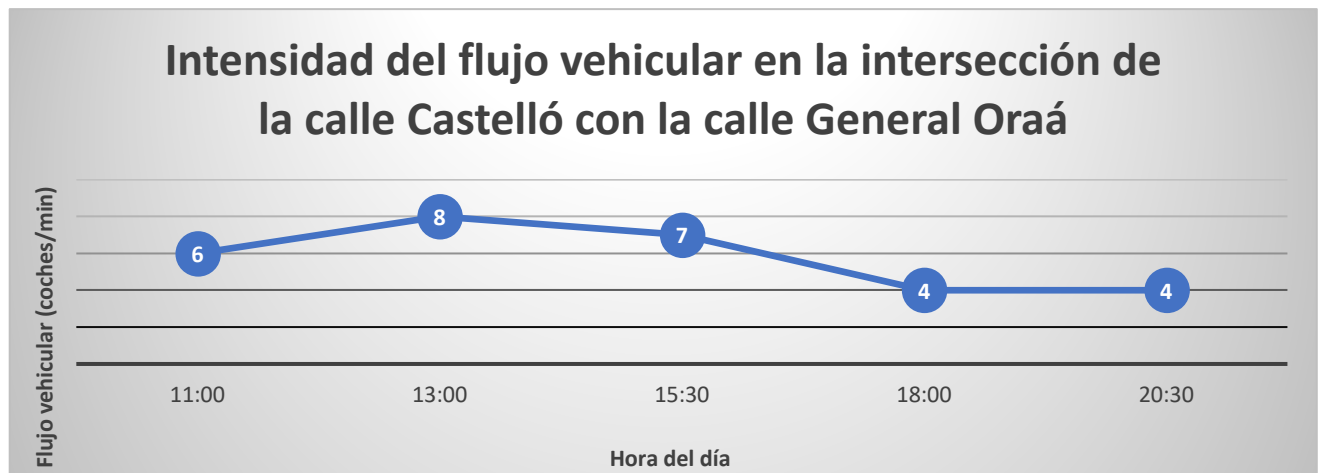


Ilustración 9: Intensidad del flujo vehicular diaria en la intersección de la calle Castelló con la calle General Oraá. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la simulación, se ha decidido emplear una intensidad media diaria, con un valor de aproximadamente 6 coches por minuto por carril. Teniendo en cuenta que esos coches venían de dos calles distintas, se aproxima el valor a tres coches por carril y por calle cada minuto.

Por tanto, teniendo en cuenta las calles que se encuentran en la ZOE y su número de carriles, la aproximación del total de vehículos circulando sería la siguiente:

Por la calle María de Molina, teniendo 6 carriles en total, circularían 18 vehículos por minuto en ambos sentidos. Por las calles de General Oraá, Castelló y Núñez de Balboa, todas de un solo carril, serían tres coches por minuto. Y finalmente, tanto en la calle Príncipe de Vergara como en la calle de Diego de León, con cuatro carriles habilitados para la circulación, por lo que serían 12 vehículos por minuto. Consecuentemente, en total son:

$$18 + 3 + 3 + 3 + 12 + 12 = 51 \text{ vehículos/min} \quad \{15\}$$

Puesto que nuestro tiempo de simulación serán 300 segundos, es decir, cinco minutos, se usará para la simulación un flujo vehicular de valor 255 vehículos/5 minutos.

Conclusiones y fin del capítulo

En este breve capítulo se ha dado a conocer la geometría de la zona objetivo de estudio del Proyecto. Han quedado reflejadas las características de esta que están directamente relacionadas con el tráfico, como el número de intersecciones y de semáforos.

Finalmente, el estudio realizado sobre la intensidad media diaria del flujo vehicular será fundamental para que este Proyecto pueda semejarse lo máximo posible a la realidad.

En el siguiente capítulo, se detallará el proceso que supone realizar una simulación en SUMO. Se realizará una breve introducción a este además de explicar que códigos se han tenido que desarrollar para poder interactuar con los ciclos semafóricos.

Simulación en SUMO

En este capítulo se detallará el proceso a seguir para simular el libre tránsito de vehículos implementando a su vez el algoritmo PSO para optimizar los ciclos semafóricos.

La simulación se llevará a cabo en un MacBook Air, concretamente, el MacBook Air M1 de 2020, con la versión de macOS Big Sur 11.0.1. Se utilizará el programa SUMO diseñado para la simulación de tráfico urbano (*Simulation of Urban MObility*, en inglés) en su versión 1.3.0, instalado a través de Homebrew, un gestor de paquetes para MacOS. Asimismo, se usará la aplicación de Visual Studio Code en su versión 1.69.2 para MacOS, donde se programará un código que permite alterar los ciclos de las fases de los semáforos en cada simulación. Además, mediante este código, se recopilarán los datos de los vehículos provistos por SUMO, incluyendo datos como el número total de vehículos, velocidades, tiempos medios de viaje, de espera etc.

Finalmente, con el código ya desarrollado, se empezará a iterar los tiempos de ciclos de los semáforos para así poder obtener una mejora significativa en el libre tránsito de vehículos, quedando maximizado el número de vehículos que llegan a su destino.

SUMO es un paquete de simulación de tránsito de vehículos que te permite modelar grandes redes de tráfico con un enfoque microscópico²⁴. Este programa se utiliza principalmente con fines de investigación como la previsión de tráfico, evaluación de los semáforos o selección de rutas. Además, es particularmente popular debido a que es un programa de código abierto que permite al usuario realizar cambios en el código fuente del programa.

Se ha decidido realizar la simulación en este programa puesto incluye una interfaz gráfica que permite diseñar redes de tráfico de una forma muy sencilla, llamada *netedit*. Asimismo, SUMO contiene una extensión específica para regular la circulación de los vehículos mediante el control de los semáforos. Esta extensión tiene el nombre de TraCI (*Traffic Control Interface*, en inglés), y posee numerosas ventajas. Principalmente permite al usuario que durante la simulación se pueda manipular el comportamiento de los distintos parámetros que la definen. De la misma manera, esta también permite al usuario recopilar los distintos datos que se generan durante la simulación como los tiempos de viaje medios, velocidades etc.

El proyecto en el que se basa este Trabajo también utilizó SUMO como simulador. En dicho proyecto, la ejecución del algoritmo de optimización se realiza mediante la implementación en C++ de PSO que posee la biblioteca MALLBA. No obstante, en este Trabajo se ha optado por otro método ya que la biblioteca MALLBA no estaba disponible para MacOS, además de que esta no había sido actualizada desde el 2006. Se decidió que el algoritmo PSO se codificaría en Python a través del programa Visual Studio Code.

²⁴ Eclipse SUMO, 2001.

Diseño de la red de tráfico

Para poder realizar una simulación en SUMO, a priori se ha de diseñar una red de tráfico por la que puedan circular los coches. Se han de crear varios archivos en los que queden definidas todas las intersecciones, las vías, y por supuesto, las rutas de los vehículos.

Primeramente, se definen mediante dos archivos escritos en lenguaje XML, la posición de las intersecciones y de las vías, un archivo para cada. Seguidamente, mediante el comando *netconvert* se crea otro archivo XML que fusiona estos dos últimos, por lo que este contiene tanto las intersecciones como las vías que conforman una red de carreteras.

A continuación, para poder realizar la simulación, se necesita que exista un flujo vehicular. Es decir, se ha de establecer en la red un número de coches que siguen un trayecto específico. SUMO contiene una extensión llamada *RandomTrips.py* la cual es la encargada de generar aleatoriamente las rutas que siguen los coches. Para este Proyecto, se han decidido generar 255 coches como bien se ha mencionado previamente. Se deben crear dos archivos más, también escritos en XML, uno que contiene las rutas de los vehículos y otro con rutas alternativas. Y finalmente, se crea el archivo que corre la simulación. Los archivos de la red y de las rutas se encuentran al final del Proyecto, en el anexo 1.

Una vez quedan creados los viajes de cada coche, mediante la herramienta *netedit* que viene incluida en el paquete de instalación de SUMO, se realizan cambios más concretos. Por ejemplo, en este Proyecto, primero se añaden varios carriles de circulación a algunas de las calles ya que estas poseen varios para los distintos sentidos. Seguidamente se ha de especificar la velocidad máxima permitida en cada vía, que en este caso corresponde a 30 km/h por vías de un carril de un único sentido, y 50 km/h para el resto. Además, en cada intersección, se señala cuáles vienen reguladas por un semáforo, que son todas menos dos. Estas dos últimas son

las intersecciones de la calle General Oraá con Castelló y con Núñez de Balboa, en las que el vehículo que circule por la calle General Oraá tiene prioridad de paso.

El diseño resultante de la red de tráfico de la ZOE es el siguiente:

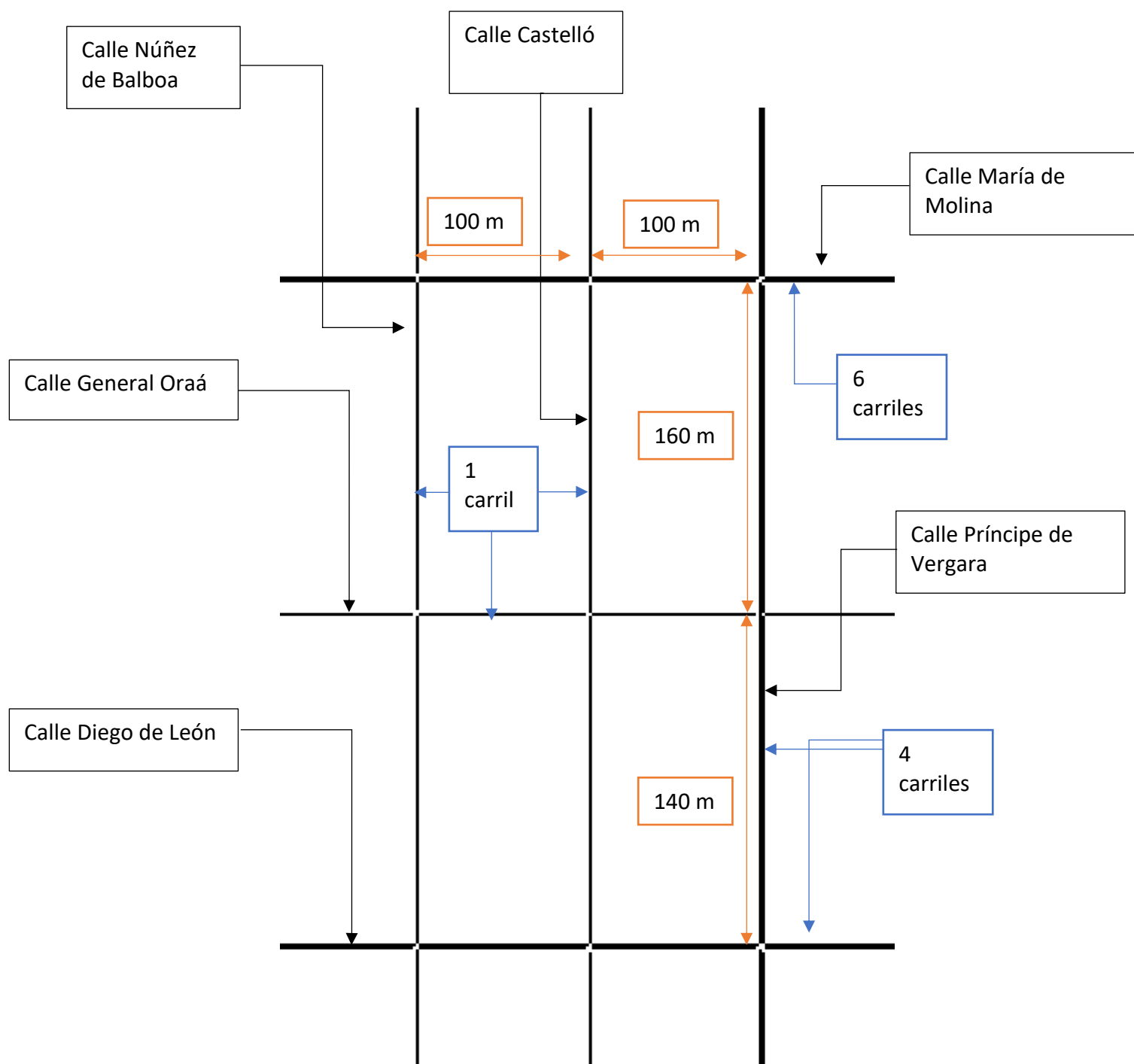


Ilustración 10: Diseño de la red de tráfico de la ZOE. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Parámetros del algoritmo PSO

En esta parte del capítulo se explicarán las variables del algoritmo PSO y su función. Nótese que los parámetros que conforman el algoritmo PSO están relacionados con la ZOE.

Primero, cabe destacar que la red de tráfico de la ZOE diseñada en SUMO posee únicamente siete semáforos. Esto se debe a que, aunque en la realidad haya más de un semáforo en una misma intersección, en SUMO una intersección viene controlada por un solo semáforo, el cual se encarga de regular todos los coches que llegan en distintas direcciones. Una vez esto queda mencionado, pasamos a definir nuestras variables del algoritmo PSO.

Los parámetros a definir son los siguientes:

- **Tamaño de la partícula:** Este será un vector de siete escalares, correspondientes a las duraciones de ciclos de todos los semáforos que conforman la ZOE.
- **Tamaño del enjambre:** Este contempla todas las soluciones posibles, y corresponde al número de simulaciones que se realizarán por iteración. Puesto que los recursos informáticos son limitados, se ha optado por un tamaño de 20 partículas en total. Consecuentemente, se realizarán 20 simulaciones por cada iteración.
- **Tiempo de simulación:** Se ha optado por un tiempo de 500 s.
- **Número máximo de iteraciones:** Tendrá un valor de 20, por lo que el número máximo de evaluaciones será de 400.
- **Componente cognitivo y social:** Recordemos que este debía ser un valor aleatorio entre el 0 y el 2.
- **Máximo de inercia:** Se ha decidido escoger el valor de 0.5.
- **Mínimo de Inercia:** Se ha decidido escoger el valor de 0.1.

Además, para simplificar el problema, se ha optado por una proporción de estados de colores constantes. Es decir, el proyecto en el que se basa este Trabajo, sus proporciones de colores iban cambiando según las duraciones de las fases y la demanda de la vía. En este Estudio, se elige una proporción constante, por lo que no afectará al valor de aptitud de la partícula y no será incluido en la función objetivo.

En la siguiente tabla se pueden apreciar las variables definidas tanto para la simulación como para la ejecución del algoritmo.

Fase	Parámetro	Valor
Simulación	Tiempo de simulación	500
	Número de vehículos	255
	Velocidad de los vehículos	30-50 km/h
	Número de intersecciones	9
Algoritmo PSO	Max. Número de evaluaciones	400
	Max. Número de iteraciones	20
	Tamaño del enjambre	20
	Tamaño de la partícula (Número de semáforos)	7
	Peso cognitivo	[0,2]
	Peso social	[0,2]
	Máximo de inercia ($w_{\max}$)	0.5
	Mínimo de inercia ($w_{\min}$)	0.1

Tabla 3: Parámetros de simulación y de PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Procedimiento del algoritmo PSO

En esta parte del capítulo se detallará brevemente el procedimiento que sigue el algoritmo PSO en una iteración.

Inicialmente, en la primera iteración, se debe generar aleatoriamente un enjambre de partículas. Por lo que, en este caso, se generará un conjunto de 15 vectores distintos, cada uno con un tamaño de 7 escalares. Cada vector representa las duraciones de los todos ciclos semafóricos de la ZOE. Nótese que como cada partícula corresponde a un vector, la posición y velocidad de estas serán matrices. A la hora de generar este cúmulo de partículas, se establecerán duraciones mínimas y máximas de fase para que todas las soluciones generadas sean coherentes.

Seguidamente, se realizará una simulación por cada partícula, es decir, por cada vector. De modo que, se coge una partícula, que contiene 7 duraciones de fases de ciclos, y se evalúa mediante una simulación en SUMO . Por lo que si se realiza una simulación por cada partícula, y hay 15 en total, se deben realizar 15 simulaciones por iteración. De cada simulación, se recogen los siguientes datos:

- Número de coches que llegan a su destino (V).
- Número de coches que no llegan a su destino (ND).
- Tiempo medio de viaje en segundos (TV).
- Tiempo de simulación en segundos (TS).
- Tiempo perdido debido a la presencia de semáforos en rojo/congestión vehicular (TE).

Todos estos datos seguidamente se sustituyen en nuestra función objetivo, la cual es la siguiente:

$$f = \frac{TV + TE + ND \cdot TS}{V^2} \quad \{16\}$$

De este modo, se calcula un valor de aptitud (que corresponde al valor que resulta en la función objetivo) para cada partícula.

Recordemos que buscamos minimizar nuestra función objetivo, ya que buscamos maximizar el número de coches que llegan a su destino en la simulación. Por eso este mismo está elevado al cuadrado dándole una mayor prioridad frente al resto de variables. Por tanto, cuanto menor sea el valor de aptitud de la partícula, más óptima es esta.

Entonces, una vez tenemos los valores de aptitud de cada partícula, procedemos a actualizar los 3 sets que constituyen la técnica de optimización por nubes de partículas. Puesto que cada partícula representa un vector, a la hora de escribir el código, se trabaja con matrices de posición, velocidad, y de mejor posición. Para actualizar tanto la velocidad como la posición es simplemente hacer uso de la ecuación que define estas dos. No obstante, en el set de mejor posición se debe ir evaluando cada partícula individualmente y ver si su nuevo valor de aptitud calculado en dicha iteración es menor que el anterior. Es decir, este set estará formada por quince vectores, cada uno siendo una duración de ciclo. Se irán comparando los ciclos de una misma partícula en las distintas iteraciones y este quedará actualizado, de tal forma que este set contenga en cada posición el vector de ciclos más óptimo encontrado por cada partícula. Y por último, dentro de este propio set, se evaluarán los 15 vectores, y se determinará cual es el más óptimo, ya que será requerido para la ecuación de la velocidad.

El proceso iterativo terminará cuando se alcance un número máximo de iteraciones, o cuando se llegue a una diferencia de valores de aptitud menor que la tolerancia definida para el problema. Este código se puede encontrar al final del Proyecto, en el Anexo 2.

Este se puede apreciar mediante el siguiente diagrama de flujo:

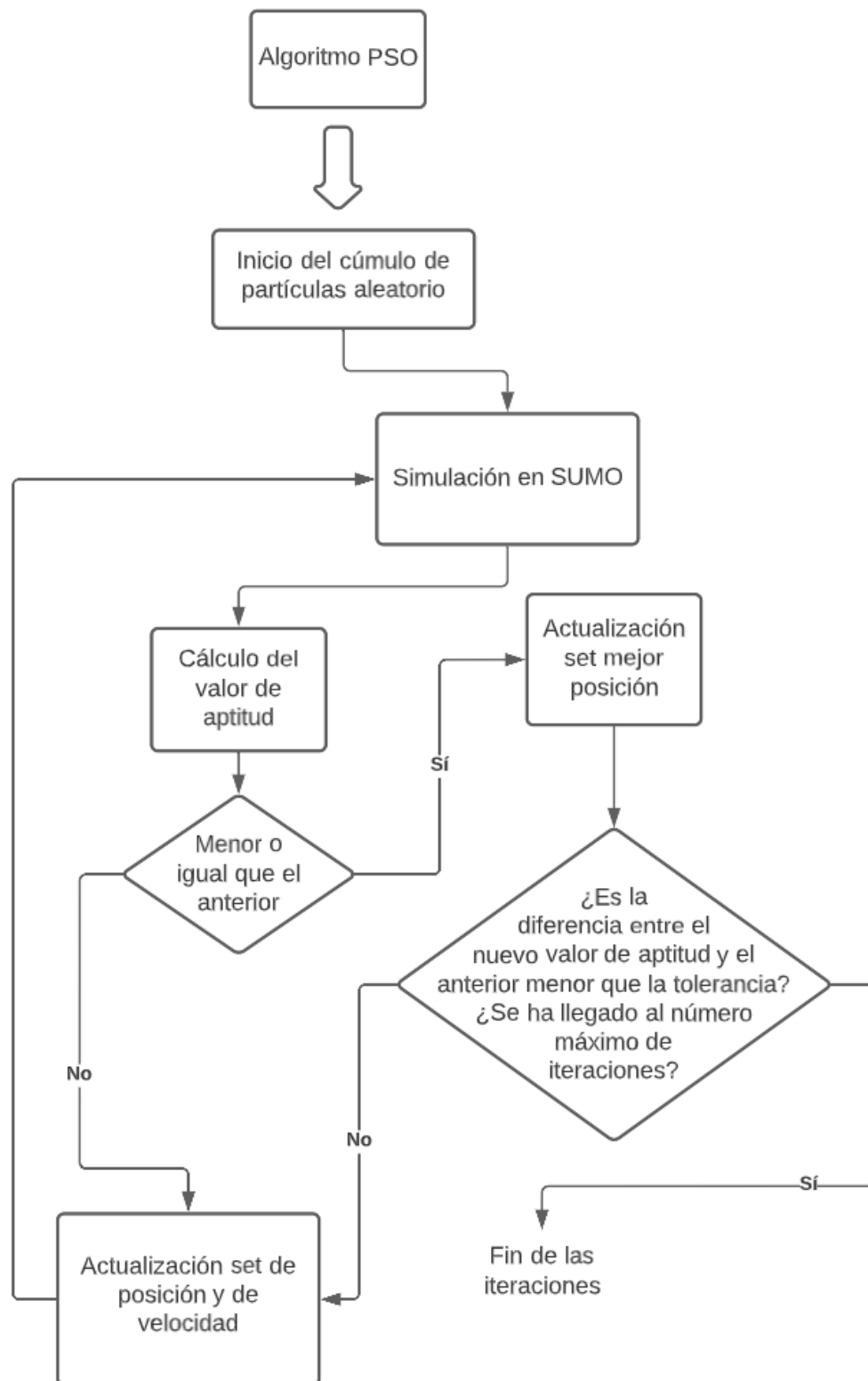


Ilustración 11: Diagrama de flujo del procedimiento del algoritmo PSO

Conclusiones y fin del capítulo

Finalmente, todos los archivos que se han de elaborar en lenguaje XML para poder crear una simulación en SUMO son los siguientes:

- Un archivo que define las intersecciones.
- Un archivo que define las vías.
- Un archivo que es la fusión de estos dos anteriores, que construye la red de tráfico.
- Un archivo que define todos los posibles viajes a realizar.
- Un archivo que contiene un cierto número de rutas definidas
- Otro archivo con rutas alternativas para los vehículos.
- El archivo que configura la simulación, fijando un tiempo de simulación.

Seguidamente, para poder manipular los ciclos de los semáforos y además poder recoger los datos de la simulación, se crea un archivo externo en Visual Studio Code escrito en Python. En él se implementa el algoritmo PSO y se mandan los nuevos ciclos semaforicos a SUMO.

En el siguiente capítulo se presentarán los resultados de la simulación y del proceso de optimización.

Resultados de la simulación

En este capítulo del Proyecto se presentarán los resultados obtenidos durante la simulación. Se abarcará un pequeño análisis que determinará si la técnica de optimización por nubes de partículas basada en el comportamiento de las bandadas de aves es adecuada para la optimización de los ciclos de los semáforos.

En una primera instancia se estudiará individualmente el comportamiento de una partícula perteneciente a la nube. Seguidamente se analizará el movimiento de las partículas como cúmulo. Se destacarán sus valores de aptitud, de mejor aptitud y también sus distintos tiempos de espera, al principio y al final del proceso iterativo.

Análisis del movimiento individual de una partícula

En esta parte del capítulo se realizará un análisis sobre el comportamiento individual de una partícula perteneciente a la nube, en concreto, se ha decidido estudiar la partícula 0.

Primeramente, se ha decidido estudiar la variable V de nuestra función *fitness*. El principal objetivo del algoritmo PSO era maximizar esta, y por eso se encontraba elevada al cuadrado en nuestra función *fitness*. En la siguiente gráfica se puede apreciar la evolución de esta variable (asociada únicamente al ciclo de semáforos de la partícula 0) durante el proceso iterativo.

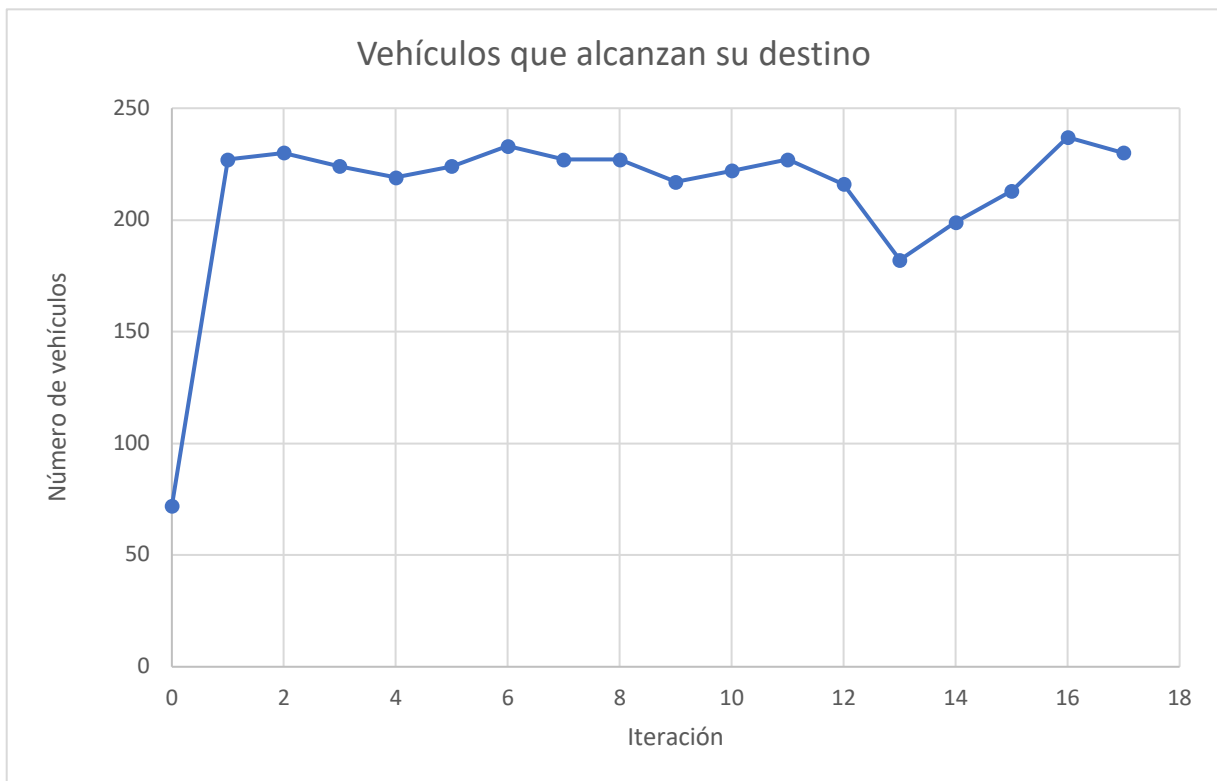


Ilustración 12: Vehículos que alcanzan su destino a lo largo del algoritmo PSO con el ciclo de semáforos asociado a la partícula 0. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar un importante crecimiento en el número de coches que llegan a su destino en la primera iteración. Luego en el resto de las iteraciones, este

número se mantiene más o menos constante. Nótese que el máximo no se encuentra en la última iteración, esto se debe a que no siempre el movimiento de la partícula en la siguiente iteración va a ser mejor. Por esto mismo, se tiene el vector mejor posición de cada partícula, el cual incluye los mejores resultados encontrados por cada partícula. En este caso, en la iteración número 16 se obtiene el máximo número de coches que alcanzan su destino a tiempo, y en la iteración número 13, sin contar con el valor inicial, el mínimo.

Antes de seguir comentando las demás variables de la partícula 0, se ha decidido también generar una gráfica relacionada con la evolución del número de vehículos que llegan a su destino de otra partícula distinta. En este caso se ha optado por la partícula 11 ya que presentaba un comportamiento más irregular. Este se puede apreciar en la siguiente figura.

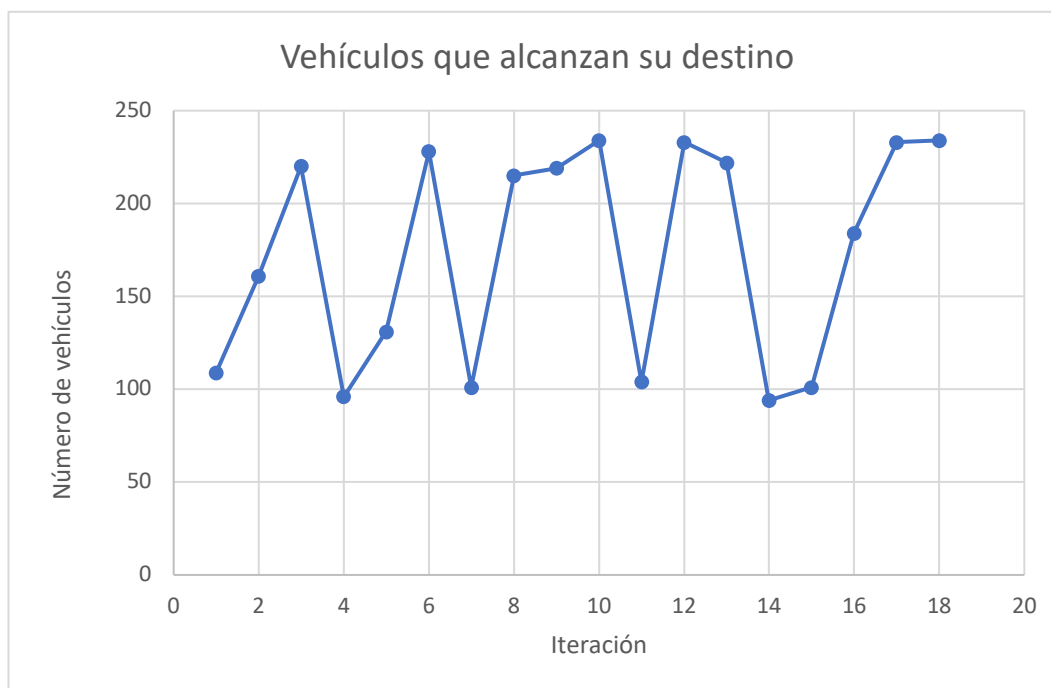


Ilustración 13: Vehículos que alcanzan su destino a lo largo del algoritmo PSO con el ciclo de semáforos asociado a la partícula 11. Fuente: Elaboración propia, 2022.

El principal motivo por el que se ha decidido incluir esta gráfica es para demostrar que el comportamiento de una partícula no siempre tiene que tender a mejorar.

La siguiente variable que comentar de la partícula 0 es el tiempo de espera de los vehículos. Este se encontraba en el numerador de nuestra función objetivo a minimizar, denominada como TE. En la siguiente figura se puede apreciar su evolución.

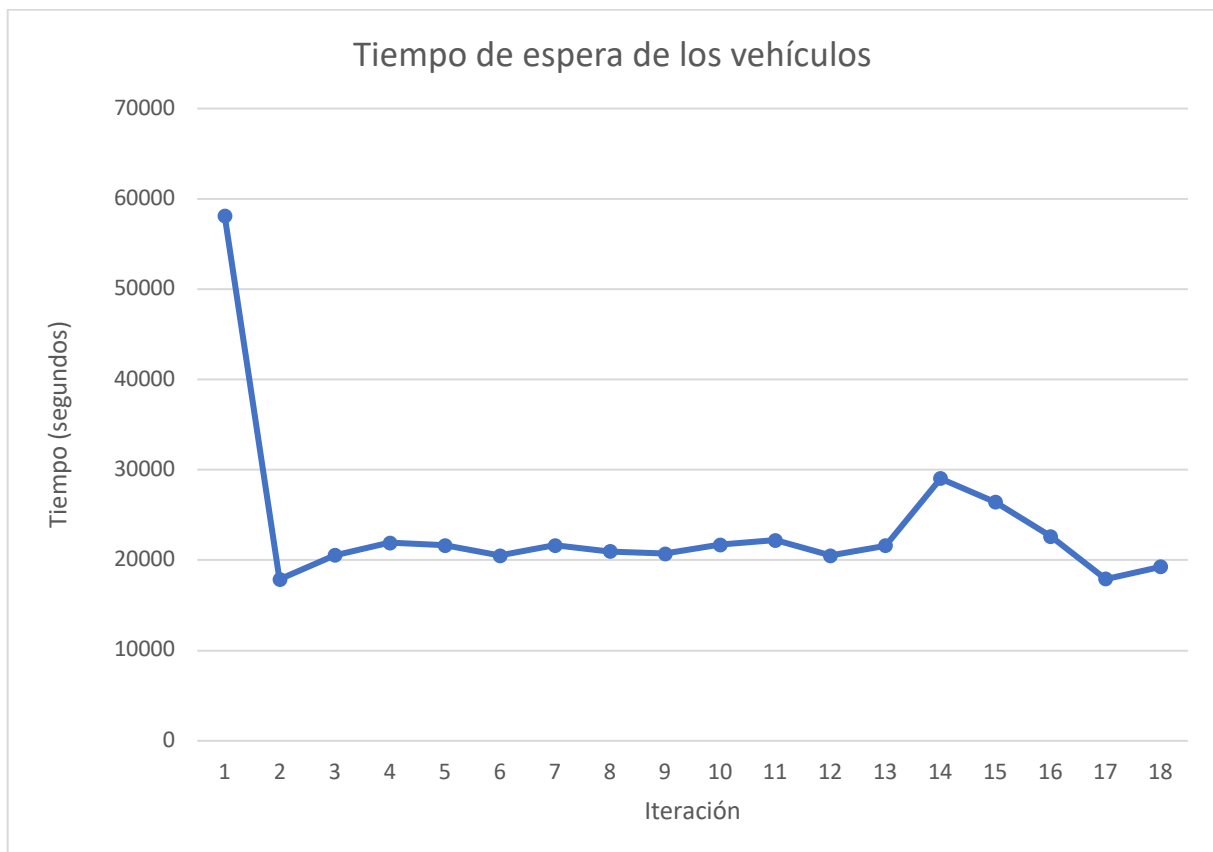


Ilustración 14: Tiempo de espera de los vehículos a lo largo del algoritmo PSO con el ciclo de semáforos asociado a la partícula 0. Fuente: Elaboración propia, 2022.

En esta gráfica se puede apreciar como el tiempo de espera se reduce significativamente. Igual que con el número de coches que alcanzan su destino a tiempo, esta disminuye drásticamente tras la primera iteración. Cabe destacar que existen dos mínimos con un valor bastante parecido, uno en la segunda iteración con un valor de 17884 segundos y el otro en la iteración 17 con un valor de 17919 segundos. A pesar de que el primero presenta un tiempo menor de espera, podemos

decir que el ciclo semafórico en la iteración 17 es mejor puesto que con este, 237 vehículos llegan a su destino frente a los 227 de la segunda iteración.

Seguidamente, se ha estudiado el valor de aptitud de la partícula a lo largo del algoritmo. Este, como bien se ha mencionado previamente, corresponde con el valor asociado a nuestra función objetivo a minimizar. En la siguiente gráfica se puede apreciar su progreso.

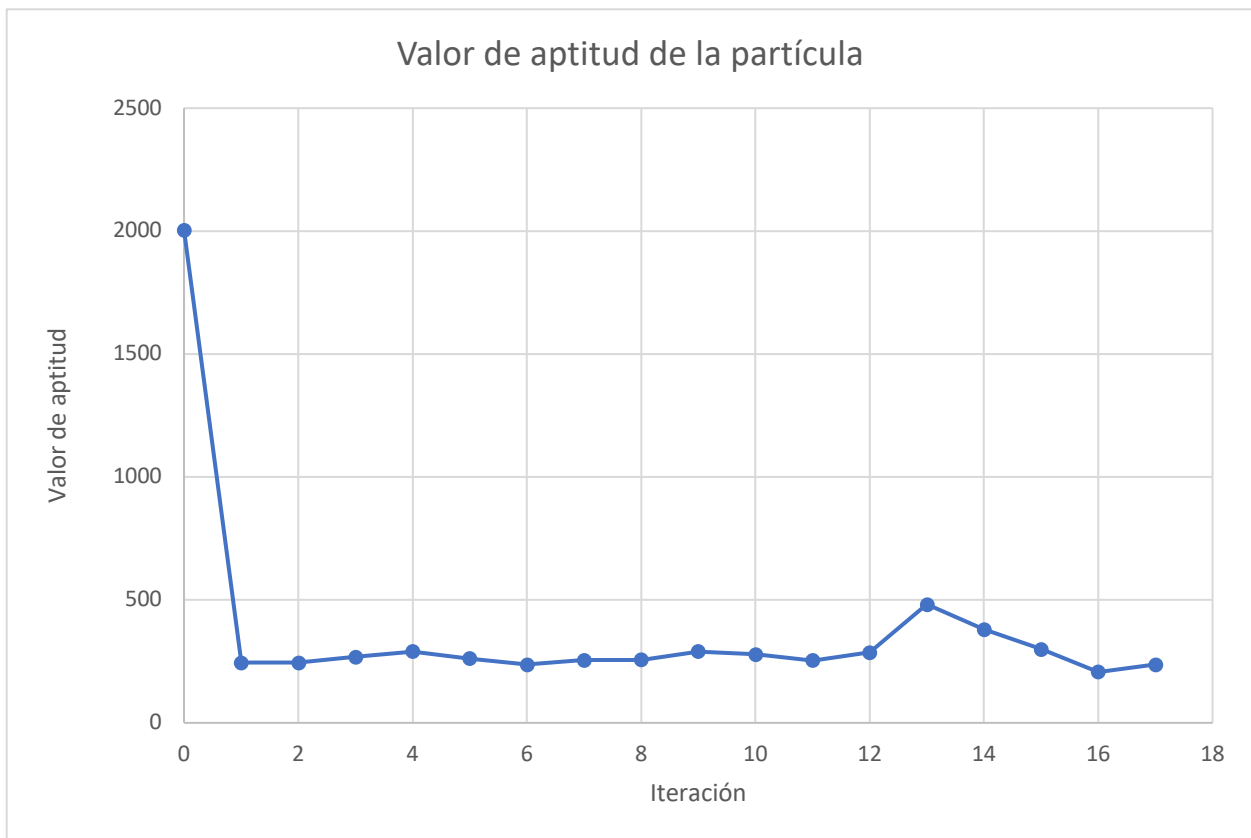


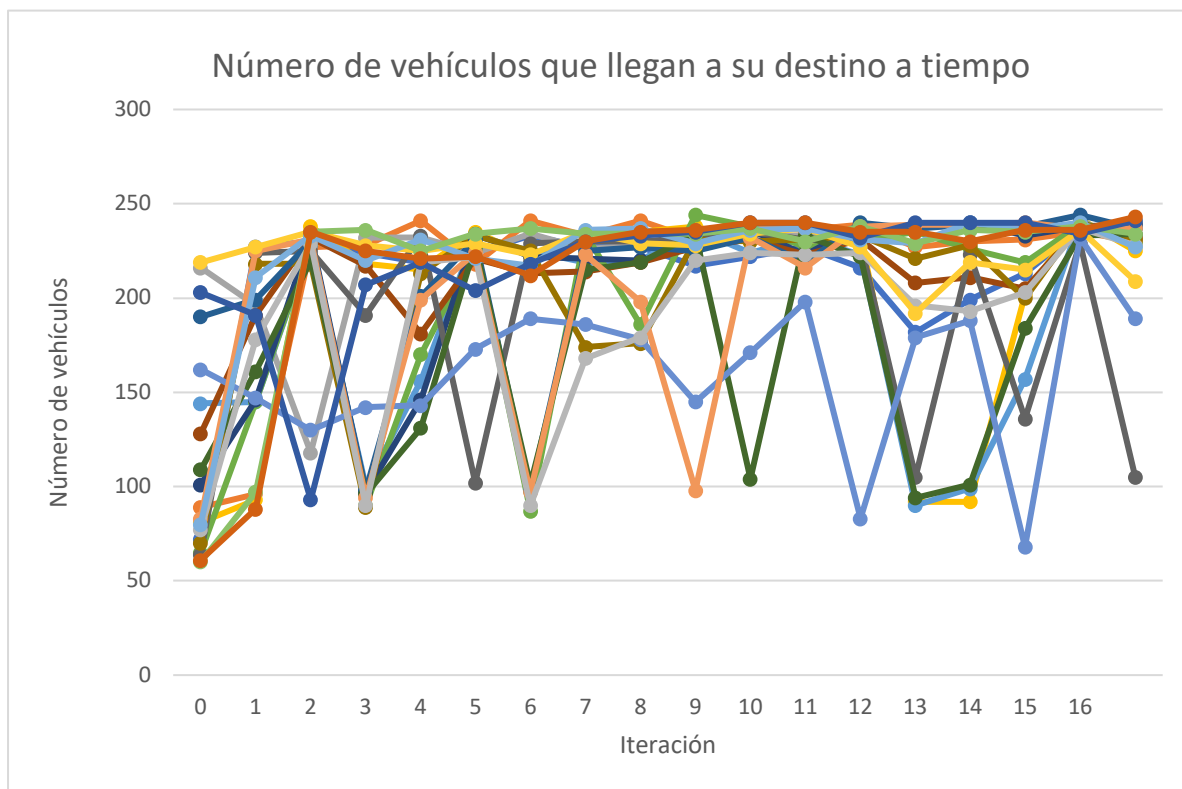
Ilustración 15: Valor de aptitud de la partícula a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como era de esperar, este se reduce bastante en la primera iteración. Y, asimismo, existe una pequeña subida del valor de aptitud, que corresponde a la iteración 13. Esto se debe a que, como bien se ha mencionado previamente, hay un decremento del número de vehículos que alcanzan su destino en esta iteración, por lo tanto, su valor de aptitud aumenta.

Análisis del movimiento del cúmulo de partículas

En esta sección del capítulo, se lleva a cabo el estudio del comportamiento de las partículas como conjunto.

Al igual que la anterior sección, primero se analizará la variable V , es decir, el número de coches que alcanzan su destino durante el tiempo de simulación. En la siguiente figura viene el comportamiento de esta asociada a todas las partículas.



*Ilustración 16: Número de vehículos que alcanzan su destino a lo largo del algoritmo PSO.
Fuente: Elaboración propia, 2022.*

En la gráfica, cada color representa una partícula, consecuentemente, en la gráfica hay 20 líneas distintas. Se puede apreciar cómo unas líneas siguen más o menos una trayectoria recta mientras que otras tienen varias subidas y bajadas a lo largo de las iteraciones. Como bien se ha mencionado anteriormente, el comportamiento de las partículas no tiene por qué tender a mejorar en cada

iteración, por eso mismo existe el vector mejor posición que se encarga de recoger y guardar las mejores soluciones encontradas hasta el momento.

A continuación, se evalúa el tiempo total de espera de los vehículos.

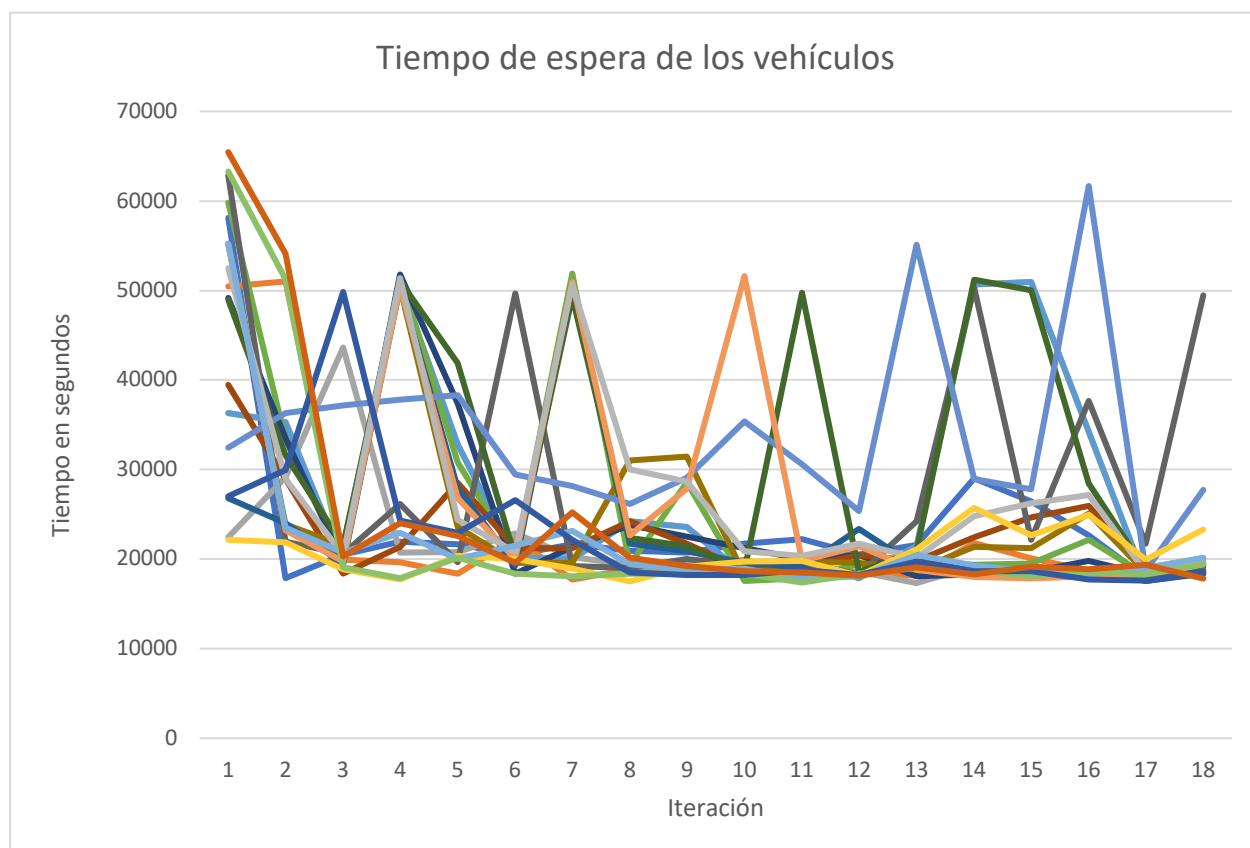
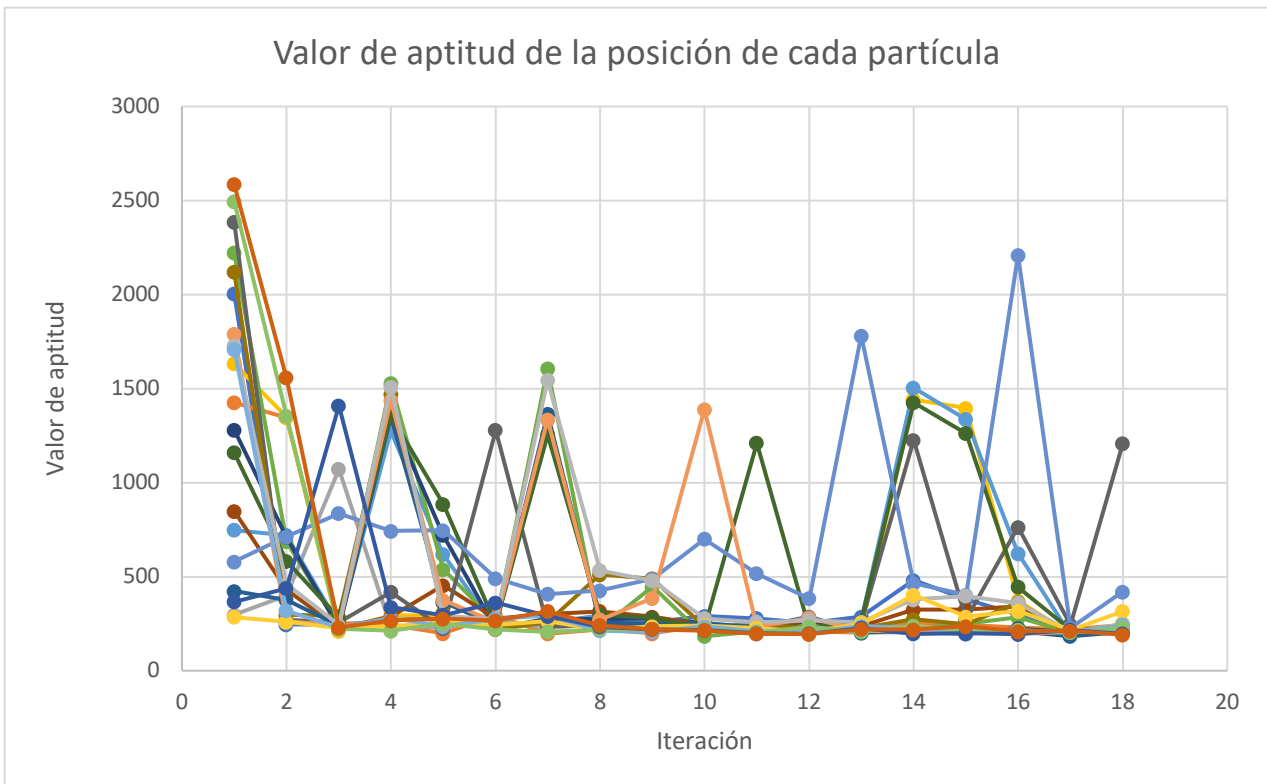


Ilustración 17: Tiempo de espera de los vehículos a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

En esta gráfica, de nuevo, se puede volver a apreciar el comportamiento irregular de varias partículas. Por un lado, hay algunas que siguen una trayectoria más o menos estable, y se puede apreciar como el tiempo de espera en estas tiende a disminuir. Por otro lado, existen varias partículas que presentan una variación de tiempos de espera muy irregular.

Seguidamente, se estudia la evolución del valor de aptitud de la posición de cada partícula. Este se puede apreciar en la siguiente figura:



*Ilustración 18: Valor de aptitud de la posición de todas las partículas a lo largo del algoritmo PSO.
Fuente: Elaboración propia, 2022.*

De nuevo, varios valores de aptitud de las partículas presentan una trayectoria irregular. Tiene sentido ya que, si las variables de la función *fitness* son irregulares, consecuentemente, el valor de aptitud también lo será.

Ahora, el valor que no debería ser irregular y que siempre tiene que tender a mejorar es el valor de aptitud de la mejor posición. Este valor, en este caso, debería de minimizarse a lo largo del proceso iterativo ya que nuestro problema se basa en minimizar una función objetivo. La evolución de este se puede observar en la siguiente gráfica.

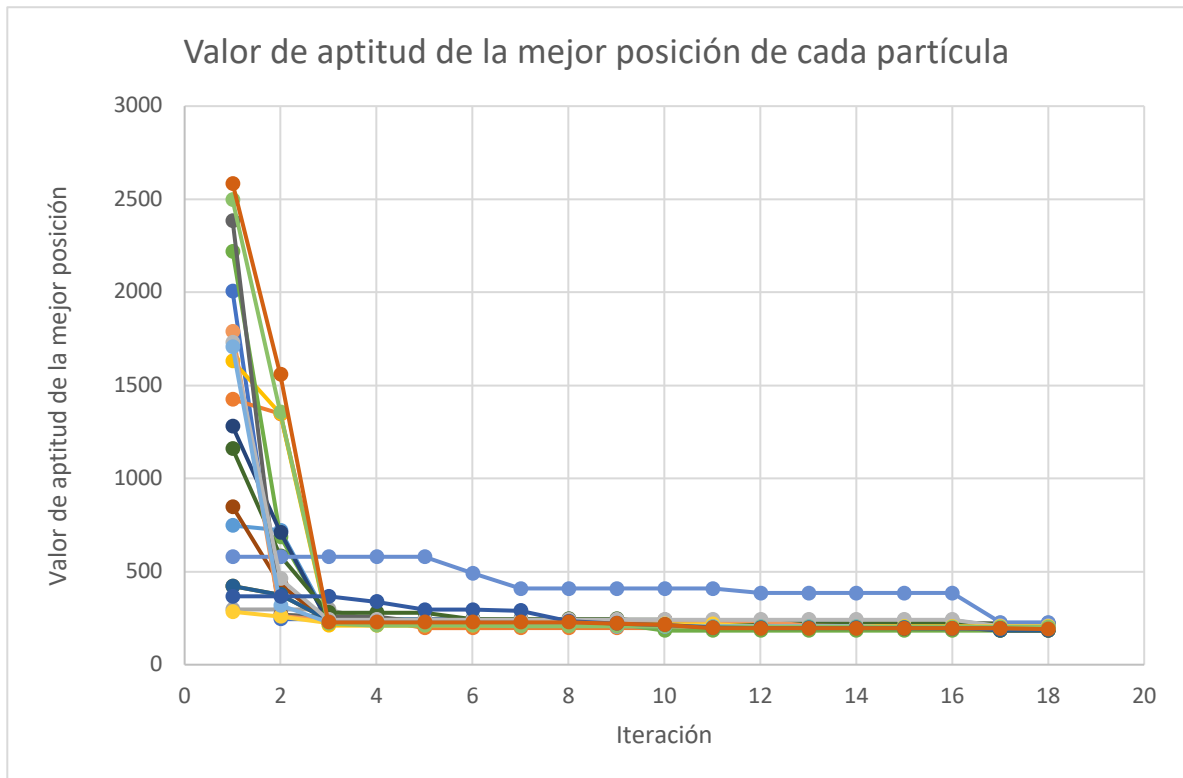


Ilustración 19: Valor de aptitud de la mejor posición de todas las partículas a lo largo del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nótese como en este caso todos los valores de aptitud presentan una trayectoria estable que tiene a descender a medida que aumentan las iteraciones. Al principio de las iteraciones, los valores de aptitud experimentan un descenso significativo y a medida que aumentan, la trayectoria de este valor empieza a ser constante, por lo que el proceso iterativo finaliza. Además, cabe destacar que al final de las iteraciones, aproximadamente todas las partículas poseen un valor de aptitud muy parecido.

Conclusiones y fin del capítulo

En este capítulo se han presentado los resultados finales de la simulación del Proyecto. Se han elaborado diferentes gráficas que han permitido reflejar la evolución de los distintos parámetros que constituyen el algoritmo PSO. Se ha estudiado tanto el comportamiento individual de una partícula como el del cúmulo. Este capítulo da pie al siguiente, conclusiones del Proyecto.

Conclusiones del Proyecto y futuros desarrollos

Se detallarán las conclusiones obtenidas al finalizar el proyecto.

Primero se concluirá si la optimización por nubes de partículas, una técnica de investigación operativa basada en el comportamiento de las bandadas de aves es eficaz para optimizar el tráfico rodado.

Además, se comentarán las posibles modificaciones que se podrían hacer en un futuro para mejorar la veracidad del Proyecto.

Conclusiones del algoritmo PSO

En el anterior capítulo se abarcaba un análisis tanto del comportamiento individual de una partícula perteneciente a la nube como del conjunto en general. En el quedaba demostrado que el comportamiento de las partículas no siempre tendía a mejorar, y que este podía ser bastante irregular, de ahí que las mejores posiciones quedasen almacenadas en un vector distinto. Por esta razón, para dar una mejor visualización de la trayectoria de las partículas, se ha decidido elaborar otras tres gráficas.

La primera, representa la variable V , el número de vehículos que alcanzan su destino durante el tiempo de simulación. Se ha elaborado una gráfica de tal modo que se muestre el número de vehículos que llegaban a su destino al principio y al final de las iteraciones de cada partícula. La gráfica es la siguiente:

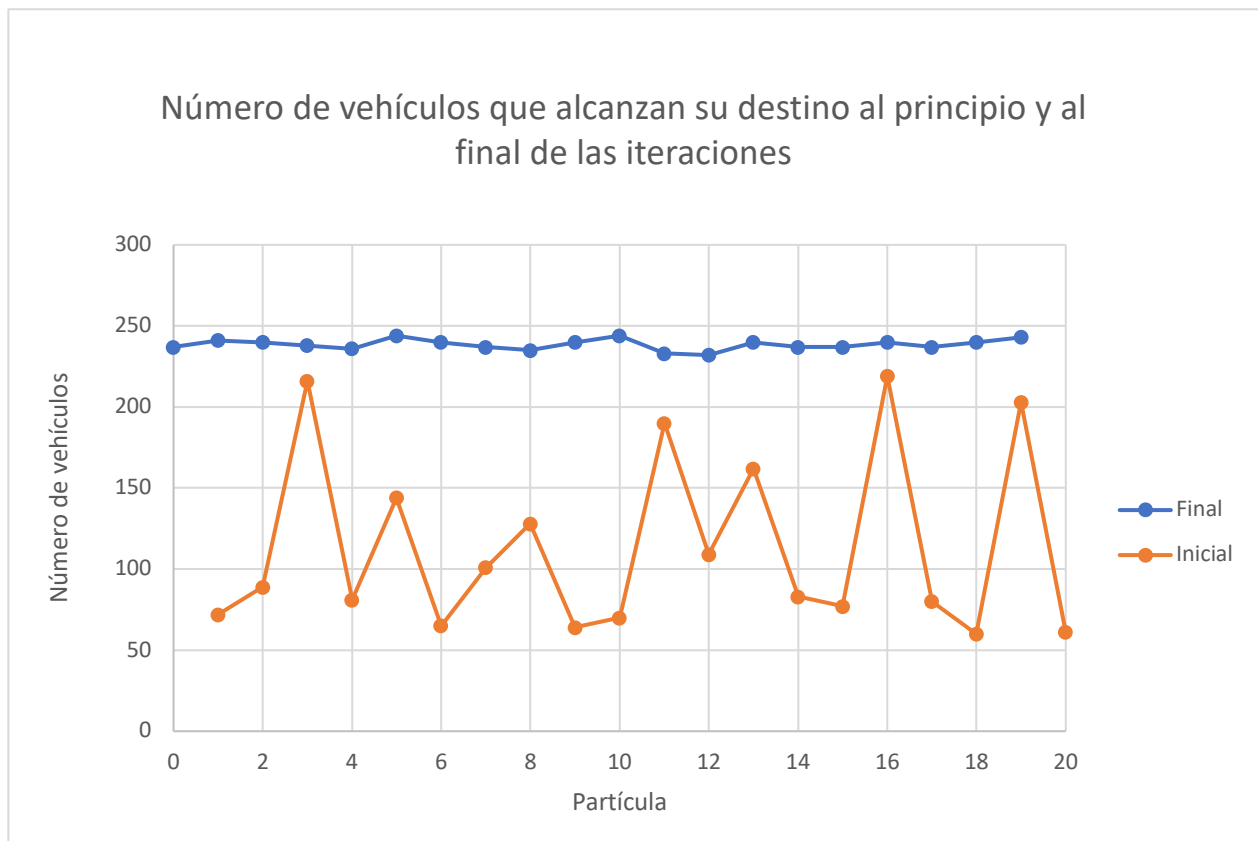


Ilustración 20: Número de Número de vehículos que alcanzan su destino al principio y al final de las iteraciones del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Primeramente cabe destacar la mejora de cada partícula. Todas las partículas a lo largo del algoritmo incrementan el número de coches que llegan a su destino, claramente unas en mayor medida que otras. Podemos observar el gran cambio que supone calculando el porcentaje inicial y final de los vehículos que llegan a su destino.

Inicialmente, la media de vehículos que llegan de las 20 partículas tiene un valor de 114 coches de los 255 totales. Calculando el porcentaje obtenemos:

$$\frac{114}{255} \cdot 100 = 44.59\% \quad \{17\}$$

Finalmente, la media de los vehículos que llegan se sitúa en 239. El porcentaje por tanto posee un valor de:

$$\frac{239}{255} \cdot 100 = 93.55\% \quad \{18\}$$

Es decir, inicialmente, aproximadamente solo un 45% de los vehículos llegaban a su destino a tiempo, mientras que al final casi un 94%. Supone una mejora del 52%, se puede ver reflejada en el siguiente cálculo:

$$\frac{239 - 114}{239} \cdot 100 = 52.03\% \quad \{19\}$$

Conviene resaltar un aspecto curioso de la gráfica (Figura 1). Nótese como inicialmente el recorrido gráfico de la línea naranja, que es al principio de las iteraciones es mucho mayor que el de la línea azul, que es al final. Recordemos que la técnica de investigación operativa empleada se basa en el comportamiento de las bandadas de aves. Estas entre ellas copian al ave que sigue el mejor vuelo por lo que la que sigue el mejor rumbo de vuelo siempre va la primera en la bandada. Se puede observar como al principio de las iteraciones cada partícula posee un número muy

distinto de vehículos que alcanzan su destino, de ahí que la línea naranja tenga una trayectoria tan irregular. Sin embargo, al final de las iteraciones, se puede ver como la línea azul posee una trayectoria mas o menos constante, implicando que los vehículos que llegan a su destino de cada partícula son muy parecidos, por lo que podemos decir que las partículas también se han ido copiando entre ellas, al igual que las aves, hasta obtener la mejor solución.

Seguidamente, se ha elaborado otra gráfica más. La segunda gráfica contempla la variación del tiempo de espera de cada partícula al final y al principio del algoritmo, y es la siguiente:

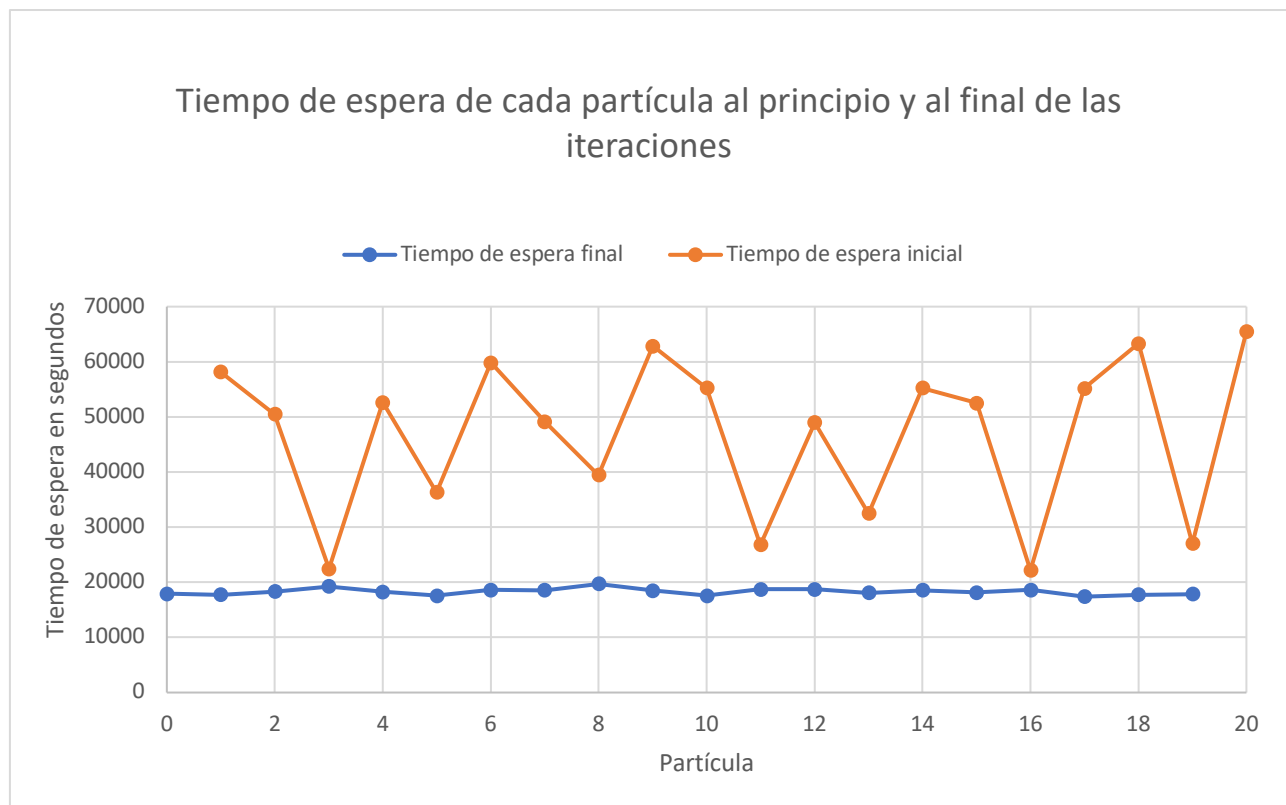


Ilustración 21: Tiempo de espera de cada partícula al principio y al final de las iteraciones del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Recordemos que el tiempo de espera es una variable de nuestra función objetivo que queríamos reducir significativamente. Podemos observar como todas

las partículas cumplen con su función y disminuyen esta variable, de nuevo, otras más que otras.

Para calcular cuánto ha sido de significativa la reducción del tiempo de espera se realiza el siguiente cálculo:

$$\frac{TE_{inicial} - TE_{final}}{TE_{inicial}} \cdot 100 \quad \{20\}$$

El tiempo medio de espera inicial tiene un valor de 46781 segundos, mientras que el tiempo media de espera final posee un valor de 18290 segundos. Por lo que el cálculo a realizar es el siguiente:

$$\frac{46781 - 18290}{46781} \cdot 100 = 60.9\% \quad \{21\}$$

El tiempo de espera se reduce significativamente, aproximadamente un 61%. Podemos decir que el algoritmo cumple su función.

Asimismo, cabe volver a destacar como la trayectoria de la línea azul es mas constante que la de la línea naranja. Esto vuelve a verificar que todas las partículas se están copiando entre ellas para llegar a la mejor solución.

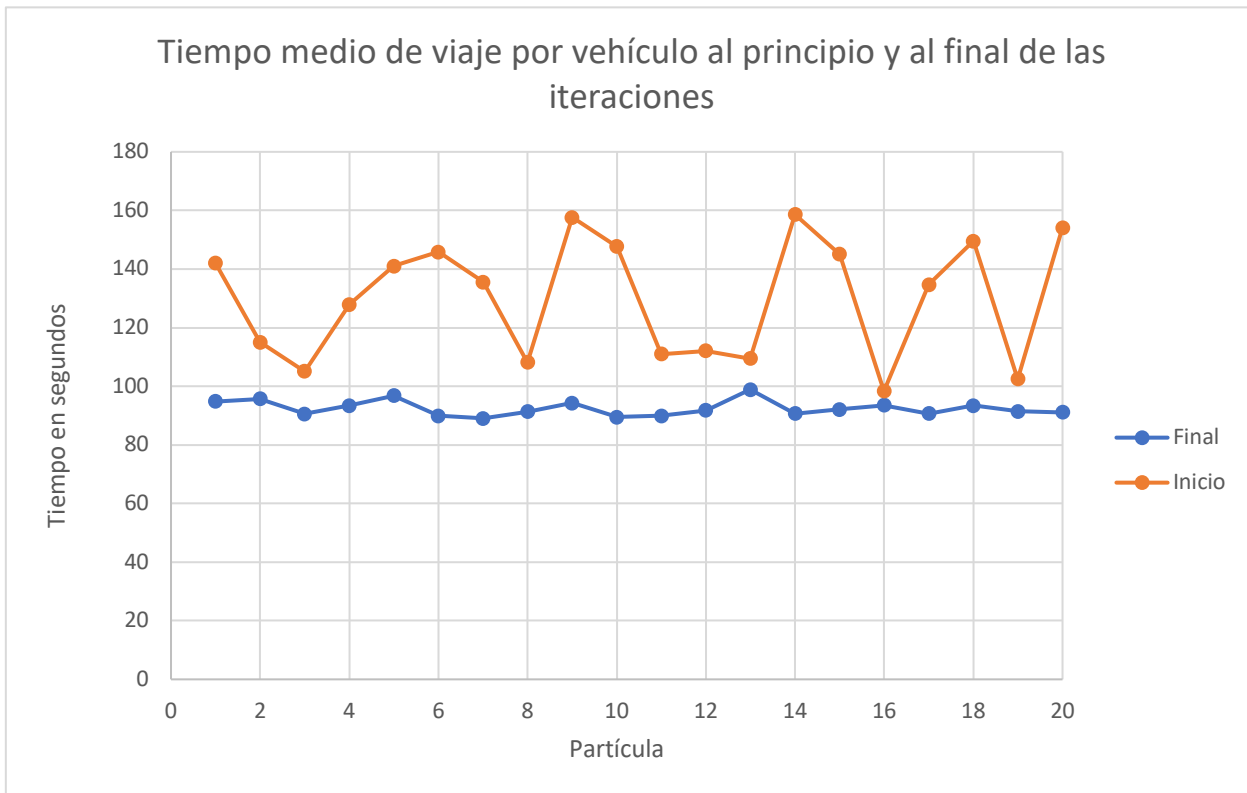


Ilustración 22: Tiempo de viaje de cada partícula al principio y al final de las iteraciones del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Por último, se ha elaborado una gráfica con la evolución del tiempo medio de viaje por vehículo. Esta, al igual que las otras, contempla la variación de esta variable al principio y al final de las iteraciones. La figura es la siguiente:

Como era de esperar, el tiempo medio de viaje por vehículo se ve reducido al final del proceso iterativo. De nuevo, la trayectoria de la línea azul es mas o menos constante, indicando que las partículas se estan copiando las unas a las otras, y que el algoritmo funciona.

Para ver la reducción del tiempo de viaje en términos de porcentaje, se calcula la media de tiempo al principio y al final, igual que con las otras variables. Al principio del algoritmo, la media se encuentra en 130.08 segundos por vehículo. Al final del algoritmo, el tiempo final medio viaje de un coche tiene el valor de 92.45 segundos.

Realizando el siguiente cálculo obtenemos el porcentaje de reducción.

$$\frac{130.08 - 92.45}{130.08} \cdot 100 = 28.92\% \quad \{22\}$$

El algoritmo supone una reducción de casi el 29% del tiempo de viaje de un vehículo.

En resumen, el uso de la técnica de optimización por nubes de partículas ha cumplido su función. El número de vehículos que alcanzan su destino ha aumentado en un 52.03%, el tiempo de espera se ha reducido en un 60.09% y el tiempo de viaje por vehículo en un 29%, cumpliendo con los objetivos propuestos al principio del Proyecto. En la siguiente tabla resumen se recogen los cambios más importantes:

Variable	Valor inicial	Valor final	Variación
Número de coches que alcanzan su destino	114	239	52.03%
Tiempo de espera total	46781 s	18290 s	60.09%
Tiempo de viaje por vehículo	130 s	92 s	28.92%

Tabla 4: Tabla resumen de los resultados del algoritmo PSO. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Futuros desarrollos

En esta parte del capítulo se quiere hacer hincapié en los posibles cambios a realizar que implicarían una mejora en la veracidad del Proyecto.

Repasando el Proyecto, una gran primera incertidumbre es el número de vehículos circulando. Para llegar a ese número, se recogieron datos sobre el tráfico en una intersección de la ZOE cinco veces en un mismo día. A pesar de que era un

día laboral y eso permitía una mayor semejanza con los datos reales, se deberían de haber tomado datos en varios días distintos de la semana. Además, tampoco se tomaron datos a las 8 de la mañana de ese día, siendo esta la hora punta de tráfico en Madrid. Por tanto, los datos recogidos presentan una incertidumbre bastante alta que puede afectar a la exactitud del Estudio.

Otra opción, hubiese sido haber recogido los datos de un centro dedicado al estudio del tráfico o del propio ayuntamiento de Madrid. Por toda la ciudad de Madrid, existen lo que se llaman aforos y son encargados de proveer datos del flujo vehicular al ayuntamiento de Madrid. Con la obtención de esos datos se puede realizar un Estudio con un grado mucho mayor de veracidad.

Por otro lado, aumentar el área de la ZOE también sería una buena opción. El área simulada es bastante pequeña y por lo tanto el impacto que tiene el estudio en cuanto a la optimización del tráfico en la ciudad de Madrid es más bien pequeño. También cabe destacar, que en el Proyecto no se han tenido en cuenta ni vehículos del transporte público, ni peatones, lo cual difiere bastante de la realidad.

Asimismo, normalmente, cuando se usa la técnica de optimización por nubes de partículas, se usa con un cúmulo suficientemente grande. El modelo de estudio en el que se basa este Proyecto, usaba 100 partículas, nosotros hemos usado 20. Del mismo modo, el número de iteraciones también podría haberse aumentado. Esto se debe a que en el presente Proyecto se tenían limitaciones informáticas y debido a cuestiones de tiempo no se podían aumentar más estos dos parámetros.

En definitiva, este Proyecto podría verse mejorado de diversas formas ya que presenta una gran incertidumbre en varios aspectos. No obstante, los resultados obtenidos a través del algoritmo de optimización por nubes de partículas son satisfactorios.

Memoria económica

En este último capítulo del Proyecto se quiere dar luz a la variabilidad económica de este.

El objetivo principal del uso del algoritmo PSO para optimizar los ciclos de semáforos de una zona determinada de Madrid era reducir tanto el tiempo de espera de los vehículos como el tiempo medio de viaje por vehículo. Con estas disminuciones, se quería reducir considerablemente el uso de combustible para que a la larga se tuviese un impacto tanto económico como medio ambiental.

En esta parte del Proyecto, se calculará la reducción del uso de combustible que implica el uso del algoritmo PSO. Primero se calculará en términos de litros, y seguidamente en términos de euros para determinar el beneficio que obtendría cada vehículo.

Seguidamente, al haber una reducción tanto en el tiempo de espera como en el tiempo de viaje, se produce un ahorro de tiempo que también supone un impacto económico. Este ahorro se calculará en la segunda parte del capítulo.

Ahorro de combustible

En esta parte del capítulo procederemos a calcular el ahorro de combustible que ha supuesto la optimización de semáforos de la ZOE.

En la siguiente tabla se han recogido los datos del tiempo de viaje de cada partícula. El tiempo de viaje queda denominado como TV.

Partícula	TV inicial (s)	TV final (s)	TV _{inicial} -TV _{final}
0	142.03	94.82	47.21
1	115.08	95.70	19.38
2	105.16	90.56	14.59
3	127.95	93.44	34.51
4	140.99	96.79	44.19
5	145.78	89.91	55.87
6	135.58	89.07	46.51
7	108.20	91.30	16.89
8	157.63	94.31	63.31
9	147.69	89.47	58.22
10	111.00	89.91	21.09
11	112.10	91.73	20.37
12	109.52	98.90	10.62
13	158.61	90.74	67.87
14	145.10	92.12	52.98
15	98.33	93.58	4.76
16	134.74	90.68	44.05
17	149.52	93.45	56.07
18	102.48	91.40	11.08
19	154.18	91.15	63.03

Tabla 5: Datos de los tiempos de viaje de las partículas antes y después de la optimización de los ciclos semafóricos. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para poder calcular el ahorro de combustible por vehículo, debemos calcular cuántos metros se hubiesen recorrido en ese tiempo de viaje que hemos reducido.

Para ello, calculamos primero la velocidad del vehículo. Puesto que la red de tráfico está formada por tres calles con límite de velocidad de 50 km/h y otras tres calles con límite de velocidad 30 km/h, se ha decidido asignar a cada vehículo la media de estas dos.

$$V = 0.5 \cdot 50 + 0.5 \cdot 30 = 40 \text{ km/h} \quad \{23\}$$

El tiempo de viaje ahorrado posee unidades de segundos, por lo que la velocidad la pasaremos a m/s.

$$V = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\text{m}/\text{km}}{3600\text{s}/\text{h}} = 11.11 \text{ m/s} \quad \{24\}$$

Una vez la velocidad queda calculada, calculamos la distancia equivalente a haber seguido circulando durante ese tiempo de viaje. Esto se realiza mediante el uso de las leyes cinemáticas.

$$\text{Distancia} = v \cdot t \quad \{25\}$$

Cabe decir que no se está teniendo en cuenta los tiempos de espera debido a semáforos por vehículo. Suponemos que el consumo de combustible durante ese período de tiempo es despreciable. Entonces, la distancia que se está calculando, es para hallar el consumo de combustible que se hubiese gastado en ese tiempo de viaje. Nótese que, durante este período, un vehículo no circularía siempre a 40 km/h ya que si el tiempo de viaje se ve reducido es porque la congestión de tráfico también ha disminuido, entonces antes de optimizar los ciclos, había un mayor tiempo de viaje debido a la formación de colas de coches en las vías.

En la siguiente tabla podemos ver la distancia equivalente:

Partícula	Distancia (m)
0	524.55
1	215.30
2	162.17
3	383.44
4	491.04
5	620.79
6	516.81
7	187.68
8	703.49
9	646.88
10	234.29
11	226.30
12	117.97
13	754.14
14	588.68
15	52.84
16	489.49
17	622.95
18	123.09
19	700.36

Tabla 6: Tabla de las distancias equivalentes por vehículo de todas las partículas. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los datos del consumo de combustible vienen dados en las unidades de L/100 km, es por ello por lo que es necesario calcular la distancia recorrida equivalente.

El consumo de combustible de un vehículo es muy relativo. Este depende de numerosos factores, como, por ejemplo, el tipo de vehículo. También depende del tipo de conductor, en el sentido de que un conductor puede revolucionar más o menos el coche a la hora de circular, y por lo tanto el consumo también varía. Asimismo, depende de la circunstancia de la vía en la que se encuentra, si la vía está sobresaturada, el vehículo se verá obligado a dar parones de vez en cuando

incrementando el uso de combustible. Por eso mismo, está demostrado que en carretera el consumo de combustible es menor que en ciudad.

Se ha estimado mediante un estudio²⁵ realizado en Madrid, la media de consumo de combustible de los 10 coches más vendidos en esta ciudad. Esta tiene un valor aproximado de 6 L consumidos cada 100 km. Para saber cuántos litros consume cada vehículo realizamos la siguiente operación:

$$Consumo = \frac{6 \text{ L} \cdot distancia \text{ (km)}}{100 \text{ km}} \quad \{26\}$$

El consumo resultante es:

Partícula	Consumo (L)
0	0.31
1	0.13
2	0.10
3	0.23
4	0.29
5	0.37
6	0.31
7	0.11
8	0.42
9	0.39
10	0.14
11	0.14
12	0.07
13	0.45
14	0.35
15	0.03
16	0.29
17	0.37
18	0.07

Tabla 7: Tabla del combustible ahorrado por vehículo. Fuente: Elaboración propia, 2022

²⁵ Neomotor, 2022.

Ahora se debe calcular el ahorro económico que supondría reducir los tiempos de viaje. Hoy en día hay varios tipos de combustible, siendo la más utilizada gasolina 95. Por eso mismo, se asume que todos los vehículos utilizan este gasóleo.

El precio de la gasolina no es nada constante, de hecho, ha subido drásticamente en los últimos meses. Depende también de muchos factores, como por ejemplo la localidad en la que se vende. Se estima que el precio de la gasolina en Madrid hoy en día valga 1.789€.

Realizamos el siguiente cálculo para saber cuánto ahorra un vehículo:

$$Ahorro = \frac{1.789€}{L} \cdot \text{litros} \quad \{27\}$$

El ahorro resultante por vehículo es:

Partícula	Ahorro (€)
0	0.56
1	0.23
2	0.17
3	0.41
4	0.53
5	0.67
6	0.55
7	0.20
8	0.76
9	0.69
10	0.25
11	0.24
12	0.13
13	0.81
14	0.63
15	0.06
16	0.53
17	0.67
18	0.13

*Tabla 8: Tabla del ahorro económico por la reducción de combustible de cada vehículo.
Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Nótese que este ahorro económico es por vehículo. En la siguiente tabla se muestra el total, el cual se calcula asumiendo que los 255 vehículos circulando consumen lo mismo.

Partícula	Ahorro total (€)
0	143.58
1	58.93
2	44.39
3	104.95
4	134.41
5	169.92
6	141.46
7	51.37
8	192.56
9	177.06
10	64.13
11	61.94
12	32.29
13	206.42
14	161.13
15	14.46
16	133.98
17	170.51
18	33.69

*Tabla 9: Tabla del ahorro económico por la reducción de combustible de todos vehículos.
Fuente: Elaboración propia, 2022.*

El ahorro en total de los 255 vehículos es bastante significativo. Existen casos en los que se podría ahorrar hasta 206€ en total, por lo que podemos concluir que la optimización de los ciclos semafóricos supondría un gran impacto económico.

Ahorro de tiempo

En la primera parte del capítulo hemos hablado del ahorro de combustible. En esta sección hablaremos del ahorro de algo más valioso aún, el tiempo.

Reduciendo los tiempos de espera y de viaje de un coche, reducimos el tiempo perdido de los ocupantes del vehículo, lo cual también tiene un impacto económico. Para calcular dicho ahorro, primero se hará una estimación de la tasa de ocupación de personas por vehículo y también una estimación del salario medio español.

En un vehículo convencional de hoy en día, en general, el número máximo de ocupantes es 5, sin embargo, existen coches con un número de plazas mayor llegando a 7 y también menor, habiendo únicamente 2 plazas. Se ha optado por una tasa de ocupación de 2 personas por vehículo.

Seguidamente, es necesario saber cuál es la tasa media del salario español. Actualmente, el coste laboral por hora en España es de 22.9 €/h²⁶. Para saber el coste equivalente en segundos se realiza la siguiente cuenta:

$$\text{Coste laboral} \left(\frac{\text{€}}{\text{s}} \right) = 22.9 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0.006 \text{ €/s} \quad \{28\}$$

Con este valor podemos calcular el dinero que podría ganar una persona trabajando durante ese tiempo. Teniendo en cuenta que hemos optado por una tasa de ocupación media de 2 personas por vehículo, se calcula el dinero ganado por vehículo de la siguiente forma:

$$\text{Dinero ganado} = 0.006 \frac{\text{€}}{\text{s}} \cdot 2 \cdot (TV_{\text{inicial}} - TV_{\text{final}}) \quad \{29\}$$

En la siguiente tabla se muestra el dinero ganado por vehículo y el dinero ganado total, teniendo en cuenta los 255 vehículos.

²⁶ Eurostat, 2022.

Partícula	Tiempo ahorrado	Dinero ganado por vehículo (€)	Dinero ganado total (€)
0	47.21	0.57	144.46
1	19.38	0.23	59.29
2	14.59	0.18	44.66
3	34.51	0.41	105.60
4	44.19	0.53	135.23
5	55.87	0.67	170.96
6	46.51	0.56	142.33
7	16.89	0.20	51.69
8	63.31	0.76	193.74
9	58.22	0.70	178.15
10	21.09	0.25	64.52
11	20.37	0.24	62.32
12	10.62	0.13	32.49
13	67.87	0.81	207.69
14	52.98	0.64	162.12
15	4.76	0.06	14.55
16	44.05	0.53	134.81
17	56.07	0.67	171.56
18	11.08	0.13	33.90
19	63.03	0.76	192.88

Tabla 10: Tabla del ahorro económico por la reducción del tiempo de viaje de los vehículos.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De nuevo, se puede observar un gran impacto económico debido a la reducción del tiempo de viaje. En este caso, se podría ganar hasta 81 céntimos por vehículo, y en total hasta 208 €.

ANEXO 1

Código de las intersecciones

```
<nodes>
  <node id="1" x="0.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="2" x="0.0" y="-1000.0" type="priority"/>
  <node id="3" x="0.0" y="-2000.0" type="priority"/>
  <node id="4" x="0.0" y="-3000.0" type="priority"/>
  <node id="5" x="0.0" y="-4000.0" type="priority"/>

  <node id="6" x="500.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="7" x="500.0" y="-1000.0" type="priority"/>
  <node id="8" x="500.0" y="-2000.0" type="priority"/>
  <node id="9" x="500.0" y="-3000.0" type="priority"/>
  <node id="10" x="500.0" y="-4000.0" type="priority"/>

  <node id="11" x="1000.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="12" x="1000.0" y="-1000.0" type="priority"/>
  <node id="13" x="1000.0" y="-2000.0" type="priority"/>
  <node id="14" x="1000.0" y="-3000.0" type="priority"/>
  <node id="15" x="1000.0" y="-4000.0" type="priority"/>

  <node id="16" x="1500.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="17" x="1500.0" y="-1000.0" type="priority"/>
  <node id="18" x="1500.0" y="-2000.0" type="priority"/>
  <node id="19" x="1500.0" y="-3000.0" type="priority"/>
  <node id="20" x="1500.0" y="-4000.0" type="priority"/>

  <node id="21" x="2000.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="22" x="2000.0" y="-1000.0" type="priority"/>
  <node id="23" x="2000.0" y="-2000.0" type="priority"/>
  <node id="24" x="2000.0" y="-3000.0" type="priority"/>
  <node id="25" x="2000.0" y="-4000.0" type="priority"/>

</nodes>
```

Código de las vías

```
<edges>
<edge id="e1" from="1" to="2" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e2" from="2" to="3" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e3" from="3" to="4" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e4" from="4" to="5" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e5" from="6" to="7" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e6" from="7" to="8" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e7" from="8" to="9" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e8" from="9" to="10" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e9" from="11" to="12" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e10" from="12" to="13" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e11" from="13" to="14" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e12" from="14" to="15" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e13" from="16" to="17" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e14" from="17" to="18" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e15" from="18" to="19" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e16" from="19" to="20" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e17" from="21" to="22" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e18" from="22" to="23" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e19" from="23" to="24" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e20" from="24" to="25" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e21" from="1" to="6" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e22" from="6" to="11" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e23" from="11" to="16" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e24" from="16" to="21" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e25" from="2" to="7" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e26" from="7" to="12" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e27" from="12" to="17" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e28" from="17" to="22" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e29" from="3" to="8" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e30" from="8" to="13" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e31" from="13" to="18" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e32" from="18" to="23" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e33" from="4" to="9" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e34" from="9" to="14" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e35" from="14" to="19" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e36" from="19" to="24" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

<edge id="e37" from="5" to="10" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e38" from="10" to="15" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e39" from="15" to="20" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>
<edge id="e40" from="20" to="25" priority="2" numLanes="2" speed="14.0"/>

</edges>
```

Código de la red

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!-- generated on 2022-08-14 19:43:27 by Eclipse SUMO netedit Version 1.14.1
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/netconvertConfiguration.xsd"
-->

    <input>
        <sumo-net-file value="/Users/jimena/Desktop/TFG%20SUMO%200/tfg.net.xml"/>
    </input>

    <output>
        <output-file value="/Users/jimena/Desktop/TFG%20SUMO%200/tfg.net.xml"/>
    </output>

    <processing>
        <geometry.min-radius.fix.railways value="false"/>
        <geometry.max-grade.fix value="false"/>
        <offset.disable-normalization value="true"/>
        <lefthand value="false"/>
    </processing>

    <junctions>
        <no-turnarounds value="true"/>
        <junctions.corner-detail value="5"/>
        <junctions.limit-turn-speed value="5.5"/>
        <rectangular-lane-cut value="false"/>
    </junctions>

    <pedestrian>
        <walkingareas value="false"/>
    </pedestrian>

</configuration>
-->

<net version="1.9" junctionCornerDetail="5" limitTurnSpeed="5.50"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/net_file.xsd">

    <location netOffset="0.00,4000.00" convBoundary="0.00,0.00,2000.00,4000.00"
origBoundary="0.00,-4000.00,2000.00,0.00" projParameter="!"/>

    <edge id=":12_0" function="internal">
        <lane id=":12_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1007.20,3008.00 1004.75,3008.35 1003.00,3009.40 1001.95,3011.15
1001.60,3013.60"/>
    </edge>
    <edge id=":12_1" function="internal">
        <lane id=":12_1_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="1007.20,3008.00 996.00,3008.00"/>
        <lane id=":12_1_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="1007.20,3004.80 996.00,3004.80"/>
        <lane id=":12_1_2" index="2" speed="14.00" length="11.20"
shape="1007.20,3001.60 996.00,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":12_4" function="internal">
```

```

        <lane id=":12_4_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1001.60,2986.40 1001.95,2988.85 1003.00,2990.60 1004.75,2991.65
1007.20,2992.00"/>
    </edge>
    <edge id=":12_5" function="internal">
        <lane id=":12_5_0" index="0" speed="8.32" length="27.20"
shape="1001.60,2986.40 1001.60,3013.60"/>
    </edge>
    <edge id=":12_6" function="internal">
        <lane id=":12_6_0" index="0" speed="9.51" length="20.48"
shape="1001.60,2986.40 1001.25,2994.45 1000.20,3000.20 998.45,3003.65
996.00,3004.80"/>
        <lane id=":12_6_1" index="1" speed="8.83" length="17.50"
shape="1001.60,2986.40 1001.25,2993.05 1000.20,2997.80 998.45,3000.65
996.00,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":12_8" function="internal">
        <lane id=":12_8_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="996.00,2992.00 1007.20,2992.00"/>
        <lane id=":12_8_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="996.00,2995.20 1007.20,2995.20"/>
        <lane id=":12_8_2" index="2" speed="14.00" length="11.20"
shape="996.00,2998.40 1007.20,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":13_0" function="internal">
        <lane id=":13_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1001.60,1992.80 1001.95,1995.25 1003.00,1997.00 1004.75,1998.05
1007.20,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":13_1" function="internal">
        <lane id=":13_1_0" index="0" speed="8.32" length="11.20"
shape="1001.60,1992.80 1001.60,2004.00"/>
    </edge>
    <edge id=":13_2" function="internal">
        <lane id=":13_2_0" index="0" speed="8.30" length="11.20"
shape="996.00,1998.40 1007.20,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":13_3" function="internal">
        <lane id=":13_3_0" index="0" speed="6.51" length="4.11"
shape="996.00,1998.40 998.45,1998.75 999.85,1999.59"/>
    </edge>
    <edge id=":13_4" function="internal">
        <lane id=":13_4_0" index="0" speed="6.51" length="4.93"
shape="999.85,1999.59 1000.20,1999.80 1001.25,2001.55 1001.60,2004.00"/>
    </edge>
    <edge id=":14_0" function="internal">
        <lane id=":14_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1007.20,1004.80 1004.75,1005.15 1003.00,1006.20 1001.95,1007.95
1001.60,1010.40"/>
    </edge>
    <edge id=":14_1" function="internal">
        <lane id=":14_1_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="1007.20,1004.80 996.00,1004.80"/>
        <lane id=":14_1_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="1007.20,1001.60 996.00,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":14_3" function="internal">
        <lane id=":14_3_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1001.60,989.60 1001.95,992.05 1003.00,993.80 1004.75,994.85
1007.20,995.20"/>
    </edge>
    <edge id=":14_4" function="internal">

```

```

        <lane id=":14_4_0" index="0" speed="8.30" length="20.80"
shape="1001.60,989.60 1001.60,1010.40"/>
    </edge>
    <edge id=":14_5" function="internal">
        <lane id=":14_5_0" index="0" speed="8.10" length="14.57"
shape="1001.60,989.60 1001.25,994.85 1000.20,998.60 998.45,1000.85
996.00,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":14_6" function="internal">
        <lane id=":14_6_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="996.00,995.20 1007.20,995.20"/>
        <lane id=":14_6_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="996.00,998.40 1007.20,998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":17_0" function="internal">
        <lane id=":17_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1495.20,3013.60 1494.85,3011.15 1493.80,3009.40 1492.05,3008.35
1489.60,3008.00"/>
    </edge>
    <edge id=":17_1" function="internal">
        <lane id=":17_1_0" index="0" speed="14.00" length="27.20"
shape="1495.20,3013.60 1495.20,2986.40"/>
        <lane id=":17_1_1" index="1" speed="14.00" length="27.20"
shape="1498.40,3013.60 1498.40,2986.40"/>
    </edge>
    <edge id=":17_3" function="internal">
        <lane id=":17_3_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1510.40,3008.00 1507.95,3008.35 1506.20,3009.40 1505.15,3011.15
1504.80,3013.60"/>
    </edge>
    <edge id=":17_4" function="internal">
        <lane id=":17_4_0" index="0" speed="14.00" length="20.80"
shape="1510.40,3008.00 1489.60,3008.00"/>
        <lane id=":17_4_1" index="1" speed="14.00" length="20.80"
shape="1510.40,3004.80 1489.60,3004.80"/>
        <lane id=":17_4_2" index="2" speed="14.00" length="20.80"
shape="1510.40,3001.60 1489.60,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":17_7" function="internal">
        <lane id=":17_7_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1504.80,2986.40 1505.15,2988.85 1506.20,2990.60 1507.95,2991.65
1510.40,2992.00"/>
    </edge>
    <edge id=":17_8" function="internal">
        <lane id=":17_8_0" index="0" speed="14.00" length="27.20"
shape="1504.80,2986.40 1504.80,3013.60"/>
        <lane id=":17_8_1" index="1" speed="14.00" length="27.20"
shape="1501.60,2986.40 1501.60,3013.60"/>
    </edge>
    <edge id=":17_10" function="internal">
        <lane id=":17_10_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1489.60,2992.00 1492.05,2991.65 1493.80,2990.60 1494.85,2988.85
1495.20,2986.40"/>
    </edge>
    <edge id=":17_11" function="internal">
        <lane id=":17_11_0" index="0" speed="14.00" length="20.80"
shape="1489.60,2992.00 1510.40,2992.00"/>
        <lane id=":17_11_1" index="1" speed="14.00" length="20.80"
shape="1489.60,2995.20 1510.40,2995.20"/>
        <lane id=":17_11_2" index="2" speed="14.00" length="20.80"
shape="1489.60,2998.40 1510.40,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":18_0" function="internal">

```

```

        <lane id=":18_0_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="1495.20,2004.00 1495.20,1992.80"/>
        <lane id=":18_0_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="1498.40,2004.00 1498.40,1992.80"/>
    </edge>
    <edge id=":18_2" function="internal">
        <lane id=":18_2_0" index="0" speed="8.10" length="2.37"
shape="1498.40,2004.00 1499.09,2001.73"/>
    </edge>
    <edge id=":18_9" function="internal">
        <lane id=":18_9_0" index="0" speed="8.10" length="12.20"
shape="1499.09,2001.73 1499.15,2001.55 1501.40,1999.80 1505.15,1998.75
1510.40,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":18_3" function="internal">
        <lane id=":18_3_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1504.80,1992.80 1505.15,1995.25 1506.20,1997.00 1507.95,1998.05
1510.40,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":18_4" function="internal">
        <lane id=":18_4_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="1504.80,1992.80 1504.80,2004.00"/>
        <lane id=":18_4_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="1501.60,1992.80 1501.60,2004.00"/>
    </edge>
    <edge id=":18_6" function="internal">
        <lane id=":18_6_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1489.60,1998.40 1492.05,1998.05 1493.80,1997.00 1494.85,1995.25
1495.20,1992.80"/>
    </edge>
    <edge id=":18_7" function="internal">
        <lane id=":18_7_0" index="0" speed="8.30" length="20.80"
shape="1489.60,1998.40 1510.40,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":18_8" function="internal">
        <lane id=":18_8_0" index="0" speed="8.10" length="14.57"
shape="1489.60,1998.40 1494.85,1998.75 1498.60,1999.80 1500.85,2001.55
1501.60,2004.00"/>
    </edge>
    <edge id=":19_0" function="internal">
        <lane id=":19_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1495.20,1010.40 1494.85,1007.95 1493.80,1006.20 1492.05,1005.15
1489.60,1004.80"/>
    </edge>
    <edge id=":19_1" function="internal">
        <lane id=":19_1_0" index="0" speed="14.00" length="20.80"
shape="1495.20,1010.40 1495.20,989.60"/>
        <lane id=":19_1_1" index="1" speed="14.00" length="20.80"
shape="1498.40,1010.40 1498.40,989.60"/>
    </edge>
    <edge id=":19_3" function="internal">
        <lane id=":19_3_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1510.40,1004.80 1507.95,1005.15 1506.20,1006.20 1505.15,1007.95
1504.80,1010.40"/>
    </edge>
    <edge id=":19_4" function="internal">
        <lane id=":19_4_0" index="0" speed="14.00" length="20.80"
shape="1510.40,1004.80 1489.60,1004.80"/>
        <lane id=":19_4_1" index="1" speed="14.00" length="20.80"
shape="1510.40,1001.60 1489.60,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":19_6" function="internal">

```

```

        <lane id=":19_6_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1504.80,989.60 1505.15,992.05 1506.20,993.80 1507.95,994.85
1510.40,995.20"/>
    </edge>
    <edge id=":19_7" function="internal">
        <lane id=":19_7_0" index="0" speed="14.00" length="20.80"
shape="1504.80,989.60 1504.80,1010.40"/>
        <lane id=":19_7_1" index="1" speed="14.00" length="20.80"
shape="1501.60,989.60 1501.60,1010.40"/>
    </edge>
    <edge id=":19_9" function="internal">
        <lane id=":19_9_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="1489.60,995.20 1492.05,994.85 1493.80,993.80 1494.85,992.05
1495.20,989.60"/>
    </edge>
    <edge id=":19_10" function="internal">
        <lane id=":19_10_0" index="0" speed="14.00" length="20.80"
shape="1489.60,995.20 1510.40,995.20"/>
        <lane id=":19_10_1" index="1" speed="14.00" length="20.80"
shape="1489.60,998.40 1510.40,998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":7_0" function="internal">
        <lane id=":7_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="498.40,3013.60 498.05,3011.15 497.00,3009.40 495.25,3008.35
492.80,3008.00"/>
    </edge>
    <edge id=":7_1" function="internal">
        <lane id=":7_1_0" index="0" speed="8.32" length="27.20"
shape="498.40,3013.60 498.40,2986.40"/>
    </edge>
    <edge id=":7_2" function="internal">
        <lane id=":7_2_0" index="0" speed="9.51" length="20.48"
shape="498.40,3013.60 498.75,3005.55 499.80,2999.80 501.55,2996.35
504.00,2995.20"/>
        <lane id=":7_2_1" index="1" speed="8.83" length="17.50"
shape="498.40,3013.60 498.75,3006.95 499.80,3002.20 501.55,2999.35
504.00,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":7_4" function="internal">
        <lane id=":7_4_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="504.00,3008.00 492.80,3008.00"/>
        <lane id=":7_4_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="504.00,3004.80 492.80,3004.80"/>
        <lane id=":7_4_2" index="2" speed="14.00" length="11.20"
shape="504.00,3001.60 492.80,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id=":7_7" function="internal">
        <lane id=":7_7_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="492.80,2992.00 495.25,2991.65 497.00,2990.60 498.05,2988.85
498.40,2986.40"/>
    </edge>
    <edge id=":7_8" function="internal">
        <lane id=":7_8_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="492.80,2992.00 504.00,2992.00"/>
        <lane id=":7_8_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="492.80,2995.20 504.00,2995.20"/>
        <lane id=":7_8_2" index="2" speed="14.00" length="11.20"
shape="492.80,2998.40 504.00,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id=":8_0" function="internal">
        <lane id=":8_0_0" index="0" speed="8.32" length="11.20"
shape="498.40,2004.00 498.40,1992.80"/>
    </edge>

```

```

    <edge id="8_1" function="internal">
      <lane id="8_1_0" index="0" speed="6.51" length="4.11"
shape="498.40,2004.00 498.75,2001.55 499.59,2000.15"/>
    </edge>
    <edge id="8_4" function="internal">
      <lane id="8_4_0" index="0" speed="6.51" length="4.93"
shape="499.59,2000.15 499.80,1999.80 501.55,1998.75 504.00,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id="8_2" function="internal">
      <lane id="8_2_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="492.80,1998.40 495.25,1998.05 497.00,1997.00 498.05,1995.25
498.40,1992.80"/>
    </edge>
    <edge id="8_3" function="internal">
      <lane id="8_3_0" index="0" speed="8.30" length="11.20"
shape="492.80,1998.40 504.00,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id="9_0" function="internal">
      <lane id="9_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="498.40,1010.40 498.05,1007.95 497.00,1006.20 495.25,1005.15
492.80,1004.80"/>
    </edge>
    <edge id="9_1" function="internal">
      <lane id="9_1_0" index="0" speed="8.30" length="20.80"
shape="498.40,1010.40 498.40,989.60"/>
    </edge>
    <edge id="9_2" function="internal">
      <lane id="9_2_0" index="0" speed="8.10" length="14.57"
shape="498.40,1010.40 498.75,1005.15 499.80,1001.40 501.55,999.15
504.00,998.40"/>
    </edge>
    <edge id="9_3" function="internal">
      <lane id="9_3_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="504.00,1004.80 492.80,1004.80"/>
      <lane id="9_3_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="504.00,1001.60 492.80,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id="9_5" function="internal">
      <lane id="9_5_0" index="0" speed="6.51" length="9.03"
shape="492.80,995.20 495.25,994.85 497.00,993.80 498.05,992.05 498.40,989.60"/>
    </edge>
    <edge id="9_6" function="internal">
      <lane id="9_6_0" index="0" speed="14.00" length="11.20"
shape="492.80,995.20 504.00,995.20"/>
      <lane id="9_6_1" index="1" speed="14.00" length="11.20"
shape="492.80,998.40 504.00,998.40"/>
    </edge>

    <edge id="-e13" from="17" to="16" priority="2" length="50.00">
      <lane id="-e13_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="1504.80,3013.60 1504.80,4000.00"/>
      <lane id="-e13_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="1501.60,3013.60 1501.60,4000.00"/>
    </edge>
    <edge id="-e14" from="18" to="17" priority="2" length="160.00">
      <lane id="-e14_0" index="0" speed="14.00" length="160.00"
shape="1504.80,2004.00 1504.80,2986.40"/>
      <lane id="-e14_1" index="1" speed="14.00" length="160.00"
shape="1501.60,2004.00 1501.60,2986.40"/>
    </edge>
    <edge id="-e15" from="19" to="18" priority="2" length="140.00">
      <lane id="-e15_0" index="0" speed="14.00" length="140.00"
shape="1504.80,1010.40 1504.80,1992.80"/>

```

```

        <lane id="-e15_1" index="1" speed="14.00" length="140.00"
shape="1501.60,1010.40 1501.60,1992.80"/>
    </edge>
    <edge id="-e16" from="20" to="19" priority="2" length="50.00">
        <lane id="-e16_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="1504.80,0.00 1504.80,989.60"/>
        <lane id="-e16_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="1501.60,0.00 1501.60,989.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e25" from="7" to="2" priority="2" length="50.00">
        <lane id="-e25_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="492.80,3008.00 0.00,3008.00"/>
        <lane id="-e25_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="492.80,3004.80 0.00,3004.80"/>
        <lane id="-e25_2" index="2" speed="14.00" length="50.00"
shape="492.80,3001.60 0.00,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e26" from="12" to="7" priority="2" length="100.00">
        <lane id="-e26_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="996.00,3008.00 504.00,3008.00"/>
        <lane id="-e26_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="996.00,3004.80 504.00,3004.80"/>
        <lane id="-e26_2" index="2" speed="14.00" length="100.00"
shape="996.00,3001.60 504.00,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e27" from="17" to="12" priority="2" length="100.00">
        <lane id="-e27_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="1489.60,3008.00 1007.20,3008.00"/>
        <lane id="-e27_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="1489.60,3004.80 1007.20,3004.80"/>
        <lane id="-e27_2" index="2" speed="14.00" length="100.00"
shape="1489.60,3001.60 1007.20,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e28" from="22" to="17" priority="2" length="50.00">
        <lane id="-e28_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="2000.00,3008.00 1510.40,3008.00"/>
        <lane id="-e28_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="2000.00,3004.80 1510.40,3004.80"/>
        <lane id="-e28_2" index="2" speed="14.00" length="50.00"
shape="2000.00,3001.60 1510.40,3001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e33" from="9" to="4" priority="2" length="50.00">
        <lane id="-e33_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="492.80,1004.80 0.00,1004.80"/>
        <lane id="-e33_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="492.80,1001.60 0.00,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e34" from="14" to="9" priority="2" length="100.00">
        <lane id="-e34_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="996.00,1004.80 504.00,1004.80"/>
        <lane id="-e34_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="996.00,1001.60 504.00,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e35" from="19" to="14" priority="2" length="100.00">
        <lane id="-e35_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="1489.60,1004.80 1007.20,1004.80"/>
        <lane id="-e35_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="1489.60,1001.60 1007.20,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id="-e36" from="24" to="19" priority="2" length="50.00">
        <lane id="-e36_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="2000.00,1004.80 1510.40,1004.80"/>

```

```

        <lane id="-e36_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="2000.00,1001.60 1510.40,1001.60"/>
    </edge>
    <edge id="e10" from="13" to="12" priority="2" length="160.00">
        <lane id="e10_0" index="0" speed="8.33" length="160.00"
shape="1001.60,2004.00 1001.60,2986.40"/>
    </edge>
    <edge id="e11" from="14" to="13" priority="2" length="140.00">
        <lane id="e11_0" index="0" speed="8.30" length="140.00"
shape="1001.60,1010.40 1001.60,1992.80"/>
    </edge>
    <edge id="e12" from="15" to="14" priority="2" length="50.00">
        <lane id="e12_0" index="0" speed="8.30" length="50.00"
shape="1001.60,0.00 1001.60,989.60"/>
    </edge>
    <edge id="e13" from="16" to="17" priority="2" length="50.00">
        <lane id="e13_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="1495.20,4000.00 1495.20,3013.60"/>
        <lane id="e13_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="1498.40,4000.00 1498.40,3013.60"/>
    </edge>
    <edge id="e14" from="17" to="18" priority="2" length="160.00">
        <lane id="e14_0" index="0" speed="14.00" length="160.00"
shape="1495.20,2986.40 1495.20,2004.00"/>
        <lane id="e14_1" index="1" speed="14.00" length="160.00"
shape="1498.40,2986.40 1498.40,2004.00"/>
    </edge>
    <edge id="e15" from="18" to="19" priority="2" length="140.00">
        <lane id="e15_0" index="0" speed="14.00" length="140.00"
shape="1495.20,1992.80 1495.20,1010.40"/>
        <lane id="e15_1" index="1" speed="14.00" length="140.00"
shape="1498.40,1992.80 1498.40,1010.40"/>
    </edge>
    <edge id="e16" from="19" to="20" priority="2" length="50.00">
        <lane id="e16_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="1495.20,989.60 1495.20,0.00"/>
        <lane id="e16_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="1498.40,989.60 1498.40,0.00"/>
    </edge>
    <edge id="e25" from="2" to="7" priority="2" length="50.00">
        <lane id="e25_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="0.00,2992.00 492.80,2992.00"/>
        <lane id="e25_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="0.00,2995.20 492.80,2995.20"/>
        <lane id="e25_2" index="2" speed="14.00" length="50.00"
shape="0.00,2998.40 492.80,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e26" from="7" to="12" priority="2" length="100.00">
        <lane id="e26_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="504.00,2992.00 996.00,2992.00"/>
        <lane id="e26_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="504.00,2995.20 996.00,2995.20"/>
        <lane id="e26_2" index="2" speed="14.00" length="100.00"
shape="504.00,2998.40 996.00,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e27" from="12" to="17" priority="2" length="100.00">
        <lane id="e27_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="1007.20,2992.00 1489.60,2992.00"/>
        <lane id="e27_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="1007.20,2995.20 1489.60,2995.20"/>
        <lane id="e27_2" index="2" speed="14.00" length="100.00"
shape="1007.20,2998.40 1489.60,2998.40"/>
    </edge>

```

```

    <edge id="e28" from="17" to="22" priority="2" length="50.00">
      <lane id="e28_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="1510.40,2992.00 2000.00,2992.00"/>
      <lane id="e28_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="1510.40,2995.20 2000.00,2995.20"/>
      <lane id="e28_2" index="2" speed="14.00" length="50.00"
shape="1510.40,2998.40 2000.00,2998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e29" from="3" to="8" priority="2" length="50.00">
      <lane id="e29_0" index="0" speed="8.30" length="50.00"
shape="0.00,1998.40 492.80,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e30" from="8" to="13" priority="2" length="100.00">
      <lane id="e30_0" index="0" speed="8.30" length="100.00"
shape="504.00,1998.40 996.00,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e31" from="13" to="18" priority="2" length="100.00">
      <lane id="e31_0" index="0" speed="8.30" length="100.00"
shape="1007.20,1998.40 1489.60,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e32" from="18" to="23" priority="2" length="50.00">
      <lane id="e32_0" index="0" speed="8.30" length="50.00"
shape="1510.40,1998.40 2000.00,1998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e33" from="4" to="9" priority="2" length="50.00">
      <lane id="e33_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="0.00,995.20 492.80,995.20"/>
      <lane id="e33_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="0.00,998.40 492.80,998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e34" from="9" to="14" priority="2" length="100.00">
      <lane id="e34_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="504.00,995.20 996.00,995.20"/>
      <lane id="e34_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="504.00,998.40 996.00,998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e35" from="14" to="19" priority="2" length="100.00">
      <lane id="e35_0" index="0" speed="14.00" length="100.00"
shape="1007.20,995.20 1489.60,995.20"/>
      <lane id="e35_1" index="1" speed="14.00" length="100.00"
shape="1007.20,998.40 1489.60,998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e36" from="19" to="24" priority="2" length="50.00">
      <lane id="e36_0" index="0" speed="14.00" length="50.00"
shape="1510.40,995.20 2000.00,995.20"/>
      <lane id="e36_1" index="1" speed="14.00" length="50.00"
shape="1510.40,998.40 2000.00,998.40"/>
    </edge>
    <edge id="e5" from="6" to="7" priority="2" length="50.00"
shape="500.00,4000.00 500.00,3014.22 500.00,3000.00">
      <lane id="e5_0" index="0" speed="8.30" length="50.00"
shape="498.40,4000.00 498.40,3014.22 498.40,3013.60"/>
    </edge>
    <edge id="e6" from="7" to="8" priority="2" length="160.00">
      <lane id="e6_0" index="0" speed="8.33" length="160.00"
shape="498.40,2986.40 498.40,2004.00"/>
    </edge>
    <edge id="e7" from="8" to="9" priority="2" length="140.00">
      <lane id="e7_0" index="0" speed="8.30" length="140.00"
shape="498.40,1992.80 498.40,1010.40"/>
    </edge>
    <edge id="e8" from="9" to="10" priority="2" length="50.00">

```

```

        <lane id="e8_0" index="0" speed="8.30" length="50.00"
shape="498.40,989.60 498.40,0.00"/>
    </edge>
    <edge id="e9" from="12" to="11" priority="2" length="50.00">
        <lane id="e9_0" index="0" speed="8.30" length="50.00"
shape="1001.60,3013.60 1001.60,4000.00"/>
    </edge>

    <tlLogic id="12" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="GGGGrrrrGGG"/>
        <phase duration="3" state="yyyyrrrryy"/>
        <phase duration="41" state="rrrrGGGrrr"/>
        <phase duration="3" state="rrrryyyyrrr"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrrrr"/>
    </tlLogic>
    <tlLogic id="14" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="GGGrrrGG"/>
        <phase duration="3" state="yyrrrryy"/>
        <phase duration="41" state="rrrGGGrr"/>
        <phase duration="3" state="rrrryyrr"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrr"/>
    </tlLogic>
    <tlLogic id="17" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="rrrGGGGrrrrGGGG"/>
        <phase duration="3" state="rrrryyyyrrrryy"/>
        <phase duration="41" state="GGGrrrrGGGrrrr"/>
        <phase duration="3" state="yyrrrrrryyrrrr"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrrrrrrrr"/>
    </tlLogic>
    <tlLogic id="18" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="GGgGGGrrr"/>
        <phase duration="3" state="yyyyyyrrr"/>
        <phase duration="41" state="rrrrrrGGG"/>
        <phase duration="3" state="rrrrrryyy"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrrr"/>
    </tlLogic>
    <tlLogic id="19" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="GGGrrrGGGrrr"/>
        <phase duration="3" state="yyrrrryyrrrr"/>
        <phase duration="41" state="rrrGGGrrrGGG"/>
        <phase duration="3" state="rrrryyrrrryy"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrrrrrr"/>
    </tlLogic>
    <tlLogic id="7" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="rrrrGGGGGGG"/>
        <phase duration="3" state="rrrryyyyyyy"/>
        <phase duration="41" state="GGGGrrrrrrrr"/>
        <phase duration="3" state="yyyyrrrrrrrr"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrrrrrr"/>
    </tlLogic>
    <tlLogic id="9" type="static" programID="0" offset="0">
        <phase duration="42" state="rrrGGGGG"/>
        <phase duration="3" state="rrrryyyyy"/>
        <phase duration="41" state="GGGrrrrrr"/>
        <phase duration="3" state="yyrrrrrr"/>
        <phase duration="1" state="rrrrrrrrr"/>
    </tlLogic>

    <junction id="10" type="dead_end" x="500.00" y="0.00" incLanes="e8_0"
intLanes="" shape="496.80,0.00 500.00,0.00"/>
    <junction id="11" type="dead_end" x="1000.00" y="4000.00" incLanes="e9_0"
intLanes="" shape="1003.20,4000.00 1000.00,4000.00"/>

```

```

<junction id="12" type="traffic_light" x="1000.00" y="3000.00" incLanes="-
e27_0 -e27_1 -e27_2 e10_0 e26_0 e26_1 e26_2" intLanes=":12_0_0 :12_1_0 :12_1_1
:12_1_2 :12_4_0 :12_5_0 :12_6_0 :12_6_1 :12_8_0 :12_8_1 :12_8_2"
shape="1000.00,3013.60 1003.20,3013.60 1003.64,3011.38 1004.20,3010.60
1004.98,3010.04 1005.98,3009.71 1007.20,3009.60 1007.20,2990.40 1004.98,2989.96
1004.20,2989.40 1003.64,2988.62 1003.31,2987.62 1003.20,2986.40 1000.00,2986.40
999.56,2988.62 999.00,2989.40 998.22,2989.96 997.22,2990.29 996.00,2990.40
996.00,3009.60 998.22,3010.04 999.00,3010.60 999.56,3011.38 999.89,3012.38">
  <request index="0" response="0000000000" foes="00000100000" cont="0"/>
  <request index="1" response="0000000000" foes="00011100000" cont="0"/>
  <request index="2" response="0000000000" foes="00011100000" cont="0"/>
  <request index="3" response="0000000000" foes="00011100000" cont="0"/>
  <request index="4" response="11100000000" foes="11100000000" cont="0"/>
  <request index="5" response="11100001111" foes="11100001111" cont="0"/>
  <request index="6" response="11100001110" foes="11100001110" cont="0"/>
  <request index="7" response="11100001110" foes="11100001110" cont="0"/>
  <request index="8" response="00000000000" foes="00011110000" cont="0"/>
  <request index="9" response="00000000000" foes="00011110000" cont="0"/>
  <request index="10" response="00000000000" foes="00011110000" cont="0"/>
</junction>
<junction id="13" type="priority" x="1000.00" y="2000.00" incLanes="e11_0
e30_0" intLanes=":13_0_0 :13_1_0 :13_2_0 :13_4_0" shape="1000.00,2004.00
1003.20,2004.00 1003.64,2001.78 1004.20,2001.00 1004.98,2000.44 1005.98,2000.11
1007.20,2000.00 1007.20,1996.80 1004.98,1996.36 1004.20,1995.80 1003.64,1995.02
1003.31,1994.02 1003.20,1992.80 1000.00,1992.80 999.56,1995.02 999.00,1995.80
998.22,1996.36 997.22,1996.69 996.00,1996.80 996.00,2000.00 998.22,2000.44
999.00,2001.00 999.56,2001.78 999.89,2002.78">
  <request index="0" response="0000" foes="0100" cont="0"/>
  <request index="1" response="0000" foes="1100" cont="0"/>
  <request index="2" response="0011" foes="0011" cont="0"/>
  <request index="3" response="0010" foes="0010" cont="1"/>
</junction>
<junction id="14" type="traffic_light" x="1000.00" y="1000.00" incLanes="-
e35_0 -e35_1 e12_0 e34_0 e34_1" intLanes=":14_0_0 :14_1_0 :14_1_1 :14_3_0 :14_4_0
:14_5_0 :14_6_0 :14_6_1" shape="1000.00,1010.40 1003.20,1010.40 1003.64,1008.18
1004.20,1007.40 1004.98,1006.84 1005.98,1006.51 1007.20,1006.40 1007.20,993.60
1004.98,993.16 1004.20,992.60 1003.64,991.82 1003.31,990.82 1003.20,989.60
1000.00,989.60 999.56,991.82 999.00,992.60 998.22,993.16 997.22,993.49
996.00,993.60 996.00,1006.40 998.22,1006.84 999.00,1007.40 999.56,1008.18
999.89,1009.18">
  <request index="0" response="000000000" foes="00010000" cont="0"/>
  <request index="1" response="000000000" foes="00110000" cont="0"/>
  <request index="2" response="000000000" foes="00110000" cont="0"/>
  <request index="3" response="110000000" foes="110000000" cont="0"/>
  <request index="4" response="110001111" foes="110001111" cont="0"/>
  <request index="5" response="110001110" foes="110001110" cont="0"/>
  <request index="6" response="000000000" foes="00111000" cont="0"/>
  <request index="7" response="000000000" foes="00111000" cont="0"/>
</junction>
<junction id="15" type="dead_end" x="1000.00" y="0.00" incLanes=""
intLanes="" shape="1000.00,0.00 1003.20,0.00"/>
<junction id="16" type="dead_end" x="1500.00" y="4000.00" incLanes="-e13_0 -
e13_1" intLanes="" shape="1500.00,4000.00 1506.40,4000.00 1500.00,4000.00"/>
<junction id="17" type="traffic_light" x="1500.00" y="3000.00"
incLanes="e13_0 e13_1 -e28_0 -e28_1 -e28_2 -e14_0 -e14_1 e27_0 e27_1 e27_2"
intLanes=":17_0_0 :17_1_0 :17_1_1 :17_3_0 :17_4_0 :17_4_1 :17_4_2 :17_7_0 :17_8_0
:17_8_1 :17_10_0 :17_11_0 :17_11_1 :17_11_2" shape="1493.60,3013.60
1506.40,3013.60 1506.84,3011.38 1507.40,3010.60 1508.18,3010.04 1509.18,3009.71
1510.40,3009.60 1510.40,2990.40 1508.18,2989.96 1507.40,2989.40 1506.84,2988.62
1506.51,2987.62 1506.40,2986.40 1493.60,2986.40 1493.16,2988.62 1492.60,2989.40
1491.82,2989.96 1490.82,2990.29 1489.60,2990.40 1489.60,3009.60 1491.82,3010.04
1492.60,3010.60 1493.16,3011.38 1493.49,3012.38">

```

```

    <request index="0" response="00000001110000" foes="00000001110000"
cont="0"/>
    <request index="1" response="11110001110000" foes="11110001110000"
cont="0"/>
    <request index="2" response="11110001110000" foes="11110001110000"
cont="0"/>
    <request index="3" response="00000000000000" foes="0000110000000000"
cont="0"/>
    <request index="4" response="00000000000000" foes="00001100000111"
cont="0"/>
    <request index="5" response="00000000000000" foes="00001100000111"
cont="0"/>
    <request index="6" response="00000000000000" foes="00001100000111"
cont="0"/>
    <request index="7" response="11100000000000" foes="11100000000000"
cont="0"/>
    <request index="8" response="11100001111000" foes="11100001111000"
cont="0"/>
    <request index="9" response="11100001111000" foes="11100001111000"
cont="0"/>
    <request index="10" response="00000000000000" foes="00000000000110"
cont="0"/>
    <request index="11" response="00000000000000" foes="00001110000110"
cont="0"/>
    <request index="12" response="00000000000000" foes="00001110000110"
cont="0"/>
    <request index="13" response="00000000000000" foes="00001110000110"
cont="0"/>
  </junction>
  <junction id="18" type="traffic_light" x="1500.00" y="2000.00"
incLanes="e14_0 e14_1 -e15_0 -e15_1 e31_0" intLanes=":18_0_0 :18_0_1 :18_9_0
:18_3_0 :18_4_0 :18_4_1 :18_6_0 :18_7_0 :18_8_0" shape="1493.60,2004.00
1506.40,2004.00 1506.84,2001.78 1507.40,2001.00 1508.18,2000.44 1509.18,2000.11
1510.40,2000.00 1510.40,1996.80 1508.18,1996.36 1507.40,1995.80 1506.84,1995.02
1506.51,1994.02 1506.40,1992.80 1493.60,1992.80 1493.16,1995.02 1492.60,1995.80
1491.82,1996.36 1490.82,1996.69 1489.60,1996.80 1489.60,2000.00 1491.82,2000.44
1492.60,2001.00 1493.16,2001.78 1493.49,2002.78">
    <request index="0" response="0000000000" foes="1110000000" cont="0"/>
    <request index="1" response="0000000000" foes="1110000000" cont="0"/>
    <request index="2" response="0001110000" foes="1101110000" cont="1"/>
    <request index="3" response="0000000000" foes="0100001000" cont="0"/>
    <request index="4" response="0000000000" foes="1100001000" cont="0"/>
    <request index="5" response="0000000000" foes="1100001000" cont="0"/>
    <request index="6" response="0000000011" foes="0000000011" cont="0"/>
    <request index="7" response="0001111111" foes="0001111111" cont="0"/>
    <request index="8" response="0001101111" foes="0001101111" cont="0"/>
  </junction>
  <junction id="19" type="traffic_light" x="1500.00" y="1000.00"
incLanes="e15_0 e15_1 -e36_0 -e36_1 -e16_0 -e16_1 e35_0 e35_1" intLanes=":19_0_0
:19_1_0 :19_1_1 :19_3_0 :19_4_0 :19_4_1 :19_6_0 :19_7_0 :19_7_1 :19_9_0 :19_10_0
:19_10_1" shape="1493.60,1010.40 1506.40,1010.40 1506.84,1008.18 1507.40,1007.40
1508.18,1006.84 1509.18,1006.51 1510.40,1006.40 1510.40,993.60 1508.18,993.16
1507.40,992.60 1506.84,991.82 1506.51,990.82 1506.40,989.60 1493.60,989.60
1493.16,991.82 1492.60,992.60 1491.82,993.16 1490.82,993.49 1489.60,993.60
1489.60,1006.40 1491.82,1006.84 1492.60,1007.40 1493.16,1008.18 1493.49,1009.18">
    <request index="0" response="000000000000" foes="000000110000"
cont="0"/>
    <request index="1" response="000000000000" foes="111000110000"
cont="0"/>
    <request index="2" response="000000000000" foes="111000110000"
cont="0"/>
    <request index="3" response="000110000000" foes="000110000000"
cont="0"/>

```

```

        <request index="4" response="000110000111" foes="000110000111"
cont="0"/>
        <request index="5" response="000110000111" foes="000110000111"
cont="0"/>
        <request index="6" response="000000000000" foes="110000000000"
cont="0"/>
        <request index="7" response="000000000000" foes="110000111000"
cont="0"/>
        <request index="8" response="000000000000" foes="110000111000"
cont="0"/>
        <request index="9" response="000000000110" foes="000000000110"
cont="0"/>
        <request index="10" response="000111000110" foes="000111000110"
cont="0"/>
        <request index="11" response="000111000110" foes="000111000110"
cont="0"/>
    </junction>
    <junction id="2" type="dead_end" x="0.00" y="3000.00" incLanes="-e25_0 -e25_1
-e25_2" intLanes="" shape="0.00,3000.00 0.00,3009.60 0.00,3000.00"/>
    <junction id="20" type="dead_end" x="1500.00" y="0.00" incLanes="e16_0 e16_1"
intLanes="" shape="1500.00,0.00 1493.60,0.00 1500.00,0.00"/>
    <junction id="22" type="dead_end" x="2000.00" y="3000.00" incLanes="e28_0
e28_1 e28_2" intLanes="" shape="2000.00,3000.00 2000.00,2990.40
2000.00,3000.00"/>
    <junction id="23" type="dead_end" x="2000.00" y="2000.00" incLanes="e32_0"
intLanes="" shape="2000.00,1996.80 2000.00,2000.00"/>
    <junction id="24" type="dead_end" x="2000.00" y="1000.00" incLanes="e36_0
e36_1" intLanes="" shape="2000.00,1000.00 2000.00,993.60 2000.00,1000.00"/>
    <junction id="3" type="dead_end" x="0.00" y="2000.00" incLanes="" intLanes=""
shape="0.00,2000.00 0.00,1996.80"/>
    <junction id="4" type="dead_end" x="0.00" y="1000.00" incLanes="-e33_0 -
e33_1" intLanes="" shape="0.00,1000.00 0.00,1006.40 0.00,1000.00"/>
    <junction id="6" type="dead_end" x="500.00" y="4000.00" incLanes=""
intLanes="" shape="500.00,4000.00 496.80,4000.00"/>
    <junction id="7" type="traffic_light" x="500.00" y="3000.00" incLanes="e5_0 -
e26_0 -e26_1 -e26_2 e25_0 e25_1 e25_2" intLanes=":7_0_0 :7_1_0 :7_2_0 :7_2_1
:7_4_0 :7_4_1 :7_4_2 :7_7_0 :7_7_1 :7_8_0 :7_8_1 :7_8_2" shape="496.80,3013.60
500.00,3013.60 500.44,3011.38 501.00,3010.60 501.78,3010.04 502.78,3009.71
504.00,3009.60 504.00,2990.40 501.78,2989.96 501.00,2989.40 500.44,2988.62
500.11,2987.62 500.00,2986.40 496.80,2986.40 496.36,2988.62 495.80,2989.40
495.02,2989.96 494.02,2990.29 492.80,2990.40 492.80,3009.60 495.02,3010.04
495.80,3010.60 496.36,3011.38 496.69,3012.38">
        <request index="0" response="00001110000" foes="00001110000" cont="0"/>
        <request index="1" response="11111110000" foes="11111110000" cont="0"/>
        <request index="2" response="11101110000" foes="11101110000" cont="0"/>
        <request index="3" response="11101110000" foes="11101110000" cont="0"/>
        <request index="4" response="00000000000" foes="00000001111" cont="0"/>
        <request index="5" response="00000000000" foes="00000001111" cont="0"/>
        <request index="6" response="00000000000" foes="00000001111" cont="0"/>
        <request index="7" response="00000000000" foes="00000000010" cont="0"/>
        <request index="8" response="00000000000" foes="00000001110" cont="0"/>
        <request index="9" response="00000000000" foes="00000001110" cont="0"/>
        <request index="10" response="00000000000" foes="00000001110" cont="0"/>
    </junction>
    <junction id="8" type="priority" x="500.00" y="2000.00" incLanes="e6_0 e29_0"
intLanes=":8_0_0 :8_4_0 :8_2_0 :8_3_0" shape="496.80,2004.00 500.00,2004.00
500.44,2001.78 501.00,2001.00 501.78,2000.44 502.78,2000.11 504.00,2000.00
504.00,1996.80 501.78,1996.36 501.00,1995.80 500.44,1995.02 500.11,1994.02
500.00,1992.80 496.80,1992.80 496.36,1995.02 495.80,1995.80 495.02,1996.36
494.02,1996.69 492.80,1996.80 492.80,2000.00 495.02,2000.44 495.80,2001.00
496.36,2001.78 496.69,2002.78">
        <request index="0" response="1100" foes="1100" cont="0"/>
        <request index="1" response="1000" foes="1000" cont="1"/>

```

```

        <request index="2" response="0000" foes="0001" cont="0"/>
        <request index="3" response="0000" foes="0011" cont="0"/>
    </junction>
    <junction id="9" type="traffic_light" x="500.00" y="1000.00" incLanes="e7_0 -
e34_0 -e34_1 e33_0 e33_1" intLanes=":9_0_0 :9_1_0 :9_2_0 :9_3_0 :9_3_1 :9_5_0
:9_6_0 :9_6_1" shape="496.80,1010.40 500.00,1010.40 500.44,1008.18 501.00,1007.40
501.78,1006.84 502.78,1006.51 504.00,1006.40 504.00,993.60 501.78,993.16
501.00,992.60 500.44,991.82 500.11,990.82 500.00,989.60 496.80,989.60
496.36,991.82 495.80,992.60 495.02,993.16 494.02,993.49 492.80,993.60
492.80,1006.40 495.02,1006.84 495.80,1007.40 496.36,1008.18 496.69,1009.18">
        <request index="0" response="00011000" foes="00011000" cont="0"/>
        <request index="1" response="11111000" foes="11111000" cont="0"/>
        <request index="2" response="11011000" foes="11011000" cont="0"/>
        <request index="3" response="00000000" foes="00000111" cont="0"/>
        <request index="4" response="00000000" foes="00000111" cont="0"/>
        <request index="5" response="00000000" foes="00000010" cont="0"/>
        <request index="6" response="00000000" foes="00000110" cont="0"/>
        <request index="7" response="00000000" foes="00000110" cont="0"/>
    </junction>

    <junction id=":13_4_0" type="internal" x="999.85" y="1999.59"
incLanes=":13_3_0 e11_0" intLanes=":13_1_0"/>
    <junction id=":18_9_0" type="internal" x="1499.09" y="2001.73"
incLanes=":18_2_0 -e15_0 -e15_1" intLanes=":18_3_0 :18_4_0 :18_4_1 :18_7_0
:18_8_0"/>
    <junction id=":8_4_0" type="internal" x="499.59" y="2000.15" incLanes=":8_1_0
e29_0" intLanes=":8_3_0"/>

    <connection from="-e14" to="e28" fromLane="0" toLane="0" via=":17_7_0"
tl="17" linkIndex="7" dir="r" state="o"/>
    <connection from="-e14" to="-e13" fromLane="0" toLane="0" via=":17_8_0"
tl="17" linkIndex="8" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e14" to="-e13" fromLane="1" toLane="1" via=":17_8_1"
tl="17" linkIndex="9" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e15" to="e32" fromLane="0" toLane="0" via=":18_3_0"
tl="18" linkIndex="3" dir="r" state="o"/>
    <connection from="-e15" to="-e14" fromLane="0" toLane="0" via=":18_4_0"
tl="18" linkIndex="4" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e15" to="-e14" fromLane="1" toLane="1" via=":18_4_1"
tl="18" linkIndex="5" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e16" to="e36" fromLane="0" toLane="0" via=":19_6_0"
tl="19" linkIndex="6" dir="r" state="o"/>
    <connection from="-e16" to="-e15" fromLane="0" toLane="0" via=":19_7_0"
tl="19" linkIndex="7" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e16" to="-e15" fromLane="1" toLane="1" via=":19_7_1"
tl="19" linkIndex="8" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e26" to="-e25" fromLane="0" toLane="0" via=":7_4_0" tl="7"
linkIndex="4" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e26" to="-e25" fromLane="1" toLane="1" via=":7_4_1" tl="7"
linkIndex="5" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e26" to="-e25" fromLane="2" toLane="2" via=":7_4_2" tl="7"
linkIndex="6" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e27" to="e9" fromLane="0" toLane="0" via=":12_0_0" tl="12"
linkIndex="0" dir="r" state="o"/>
    <connection from="-e27" to="-e26" fromLane="0" toLane="0" via=":12_1_0"
tl="12" linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e27" to="-e26" fromLane="1" toLane="1" via=":12_1_1"
tl="12" linkIndex="2" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e27" to="-e26" fromLane="2" toLane="2" via=":12_1_2"
tl="12" linkIndex="3" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e28" to="-e13" fromLane="0" toLane="0" via=":17_3_0"
tl="17" linkIndex="3" dir="r" state="o"/>

```

```

    <connection from="-e28" to="-e27" fromLane="0" toLane="0" via=":17_4_0"
tl="17" linkIndex="4" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e28" to="-e27" fromLane="1" toLane="1" via=":17_4_1"
tl="17" linkIndex="5" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e28" to="-e27" fromLane="2" toLane="2" via=":17_4_2"
tl="17" linkIndex="6" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e34" to="-e33" fromLane="0" toLane="0" via=":9_3_0" tl="9"
linkIndex="3" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e34" to="-e33" fromLane="1" toLane="1" via=":9_3_1" tl="9"
linkIndex="4" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e35" to="e11" fromLane="0" toLane="0" via=":14_0_0"
tl="14" linkIndex="0" dir="r" state="o"/>
    <connection from="-e35" to="-e34" fromLane="0" toLane="0" via=":14_1_0"
tl="14" linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e35" to="-e34" fromLane="1" toLane="1" via=":14_1_1"
tl="14" linkIndex="2" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e36" to="-e15" fromLane="0" toLane="0" via=":19_3_0"
tl="19" linkIndex="3" dir="r" state="o"/>
    <connection from="-e36" to="-e35" fromLane="0" toLane="0" via=":19_4_0"
tl="19" linkIndex="4" dir="s" state="o"/>
    <connection from="-e36" to="-e35" fromLane="1" toLane="1" via=":19_4_1"
tl="19" linkIndex="5" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e10" to="e27" fromLane="0" toLane="0" via=":12_4_0" tl="12"
linkIndex="4" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e10" to="e9" fromLane="0" toLane="0" via=":12_5_0" tl="12"
linkIndex="5" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e10" to="-e26" fromLane="0" toLane="1" via=":12_6_0"
tl="12" linkIndex="6" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e10" to="-e26" fromLane="0" toLane="2" via=":12_6_1"
tl="12" linkIndex="7" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e11" to="e31" fromLane="0" toLane="0" via=":13_0_0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from="e11" to="e10" fromLane="0" toLane="0" via=":13_1_0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from="e12" to="e35" fromLane="0" toLane="0" via=":14_3_0" tl="14"
linkIndex="3" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e12" to="e11" fromLane="0" toLane="0" via=":14_4_0" tl="14"
linkIndex="4" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e12" to="-e34" fromLane="0" toLane="1" via=":14_5_0"
tl="14" linkIndex="5" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e13" to="-e27" fromLane="0" toLane="0" via=":17_0_0"
tl="17" linkIndex="0" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e13" to="e14" fromLane="0" toLane="0" via=":17_1_0" tl="17"
linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e13" to="e14" fromLane="1" toLane="1" via=":17_1_1" tl="17"
linkIndex="2" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e14" to="e15" fromLane="0" toLane="0" via=":18_0_0" tl="18"
linkIndex="0" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e14" to="e15" fromLane="1" toLane="1" via=":18_0_1" tl="18"
linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e14" to="e32" fromLane="1" toLane="0" via=":18_2_0" tl="18"
linkIndex="2" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e15" to="-e35" fromLane="0" toLane="0" via=":19_0_0"
tl="19" linkIndex="0" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e15" to="e16" fromLane="0" toLane="0" via=":19_1_0" tl="19"
linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e15" to="e16" fromLane="1" toLane="1" via=":19_1_1" tl="19"
linkIndex="2" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e25" to="e6" fromLane="0" toLane="0" via=":7_7_0" tl="7"
linkIndex="7" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e25" to="e26" fromLane="0" toLane="0" via=":7_8_0" tl="7"
linkIndex="8" dir="s" state="o"/>

```

```

    <connection from="e25" to="e26" fromLane="1" toLane="1" via=":7_8_1" tl="7"
linkIndex="9" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e25" to="e26" fromLane="2" toLane="2" via=":7_8_2" tl="7"
linkIndex="10" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e26" to="e27" fromLane="0" toLane="0" via=":12_8_0" tl="12"
linkIndex="8" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e26" to="e27" fromLane="1" toLane="1" via=":12_8_1" tl="12"
linkIndex="9" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e26" to="e27" fromLane="2" toLane="2" via=":12_8_2" tl="12"
linkIndex="10" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e27" to="e14" fromLane="0" toLane="0" via=":17_10_0"
tl="17" linkIndex="10" dir="r" state="0"/>
    <connection from="e27" to="e28" fromLane="0" toLane="0" via=":17_11_0"
tl="17" linkIndex="11" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e27" to="e28" fromLane="1" toLane="1" via=":17_11_1"
tl="17" linkIndex="12" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e27" to="e28" fromLane="2" toLane="2" via=":17_11_2"
tl="17" linkIndex="13" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e29" to="e7" fromLane="0" toLane="0" via=":8_2_0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from="e29" to="e30" fromLane="0" toLane="0" via=":8_3_0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from="e30" to="e31" fromLane="0" toLane="0" via=":13_2_0" dir="s"
state="m"/>
    <connection from="e30" to="e10" fromLane="0" toLane="0" via=":13_3_0" dir="l"
state="m"/>
    <connection from="e31" to="e15" fromLane="0" toLane="0" via=":18_6_0" tl="18"
linkIndex="6" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e31" to="e32" fromLane="0" toLane="0" via=":18_7_0" tl="18"
linkIndex="7" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e31" to="-e14" fromLane="0" toLane="1" via=":18_8_0"
tl="18" linkIndex="8" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e33" to="e8" fromLane="0" toLane="0" via=":9_5_0" tl="9"
linkIndex="5" dir="r" state="0"/>
    <connection from="e33" to="e34" fromLane="0" toLane="0" via=":9_6_0" tl="9"
linkIndex="6" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e33" to="e34" fromLane="1" toLane="1" via=":9_6_1" tl="9"
linkIndex="7" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e34" to="e35" fromLane="0" toLane="0" via=":14_6_0" tl="14"
linkIndex="6" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e34" to="e35" fromLane="1" toLane="1" via=":14_6_1" tl="14"
linkIndex="7" dir="s" state="0"/>
    <connection from="e35" to="e16" fromLane="0" toLane="0" via=":19_9_0" tl="19"
linkIndex="9" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e35" to="e36" fromLane="0" toLane="0" via=":19_10_0"
tl="19" linkIndex="10" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e35" to="e36" fromLane="1" toLane="1" via=":19_10_1"
tl="19" linkIndex="11" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e5" to="-e25" fromLane="0" toLane="0" via=":7_0_0" tl="7"
linkIndex="0" dir="r" state="o"/>
    <connection from="e5" to="e6" fromLane="0" toLane="0" via=":7_1_0" tl="7"
linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e5" to="e26" fromLane="0" toLane="1" via=":7_2_0" tl="7"
linkIndex="2" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e5" to="e26" fromLane="0" toLane="2" via=":7_2_1" tl="7"
linkIndex="3" dir="l" state="o"/>
    <connection from="e6" to="e7" fromLane="0" toLane="0" via=":8_0_0" dir="s"
state="m"/>
    <connection from="e6" to="e30" fromLane="0" toLane="0" via=":8_1_0" dir="l"
state="m"/>
    <connection from="e7" to="-e33" fromLane="0" toLane="0" via=":9_0_0" tl="9"
linkIndex="0" dir="r" state="o"/>

```

```

    <connection from="e7" to="e8" fromLane="0" toLane="0" via=":9_1_0" tl="9"
linkIndex="1" dir="s" state="o"/>
    <connection from="e7" to="e34" fromLane="0" toLane="1" via=":9_2_0" tl="9"
linkIndex="2" dir="l" state="o"/>

    <connection from=":12_0" to="e9" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":12_1" to="-e26" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":12_1" to="-e26" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":12_1" to="-e26" fromLane="2" toLane="2" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":12_4" to="e27" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":12_5" to="e9" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":12_6" to="-e26" fromLane="0" toLane="1" dir="l"
state="M"/>
    <connection from=":12_6" to="-e26" fromLane="1" toLane="2" dir="l"
state="M"/>
    <connection from=":12_8" to="e27" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":12_8" to="e27" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":12_8" to="e27" fromLane="2" toLane="2" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":13_0" to="e31" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":13_1" to="e10" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":13_2" to="e31" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":13_3" to="e10" fromLane="0" toLane="0" via=":13_4_0"
dir="l" state="m"/>
    <connection from=":13_4" to="e10" fromLane="0" toLane="0" dir="l" state="M"/>
    <connection from=":14_0" to="e11" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":14_1" to="-e34" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":14_1" to="-e34" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":14_3" to="e35" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":14_4" to="e11" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":14_5" to="-e34" fromLane="0" toLane="1" dir="l"
state="M"/>
    <connection from=":14_6" to="e35" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":14_6" to="e35" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":17_0" to="-e27" fromLane="0" toLane="0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from=":17_1" to="e14" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":17_1" to="e14" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":17_3" to="-e13" fromLane="0" toLane="0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from=":17_4" to="-e27" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_4" to="-e27" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_4" to="-e27" fromLane="2" toLane="2" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_7" to="e28" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":17_8" to="-e13" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_8" to="-e13" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_10" to="e14" fromLane="0" toLane="0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from=":17_11" to="e28" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_11" to="e28" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":17_11" to="e28" fromLane="2" toLane="2" dir="s"
state="M"/>

```

```

    <connection from=":18_0" to="e15" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":18_0" to="e15" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":18_2" to="e32" fromLane="0" toLane="0" via=":18_9_0"
dir="1" state="m"/>
    <connection from=":18_9" to="e32" fromLane="0" toLane="0" dir="1" state="M"/>
    <connection from=":18_3" to="e32" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":18_4" to="-e14" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":18_4" to="-e14" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":18_6" to="e15" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":18_7" to="e32" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":18_8" to="-e14" fromLane="0" toLane="1" dir="1"
state="M"/>
    <connection from=":19_0" to="-e35" fromLane="0" toLane="0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from=":19_1" to="e16" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":19_1" to="e16" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":19_3" to="-e15" fromLane="0" toLane="0" dir="r"
state="M"/>
    <connection from=":19_4" to="-e35" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":19_4" to="-e35" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":19_6" to="e36" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":19_7" to="-e15" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":19_7" to="-e15" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":19_9" to="e16" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":19_10" to="e36" fromLane="0" toLane="0" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":19_10" to="e36" fromLane="1" toLane="1" dir="s"
state="M"/>
    <connection from=":7_0" to="-e25" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":7_1" to="e6" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":7_2" to="e26" fromLane="0" toLane="1" dir="1" state="M"/>
    <connection from=":7_2" to="e26" fromLane="1" toLane="2" dir="1" state="M"/>
    <connection from=":7_4" to="-e25" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":7_4" to="-e25" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":7_4" to="-e25" fromLane="2" toLane="2" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":7_7" to="e6" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":7_8" to="e26" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":7_8" to="e26" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":7_8" to="e26" fromLane="2" toLane="2" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":8_0" to="e7" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":8_1" to="e30" fromLane="0" toLane="0" via=":8_4_0" dir="1"
state="m"/>
    <connection from=":8_4" to="e30" fromLane="0" toLane="0" dir="1" state="M"/>
    <connection from=":8_2" to="e7" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":8_3" to="e30" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":9_0" to="-e33" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":9_1" to="e8" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":9_2" to="e34" fromLane="0" toLane="1" dir="1" state="M"/>
    <connection from=":9_3" to="-e33" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":9_3" to="-e33" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":9_5" to="e8" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
    <connection from=":9_6" to="e34" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
    <connection from=":9_6" to="e34" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>

</net>

```

Código de las rutas

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!-- generated on 2022-08-20 16:54:36 by Eclipse SUMO duarouter Version 1.14.1
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/duarouterConfiguration.xsd"
>

    <input>
        <net-file value="tfg.net.xml"/>
        <route-files value="tfg.trips.xml"/>
    </input>

    <output>
        <output-file value="tfg.rou.xml"/>
    </output>

</configuration>
-->

<routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
    <vehicle id="0" depart="0.00">
        <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="1" depart="0.36">
        <route edges="-e35 -e34 -e33"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="2" depart="0.72">
        <route edges="e30 e31"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="4" depart="1.44">
        <route edges="e12 e11 e31 -e14 -e13"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="11" depart="3.96">
        <route edges="e10 -e26"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="12" depart="4.32">
        <route edges="e6 e30 e10"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="13" depart="4.68">
        <route edges="-e16 -e15"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="16" depart="5.76">
        <route edges="e15 -e35 e11 e10 e9"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="20" depart="7.20">
        <route edges="e30 e31 -e14"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="21" depart="7.56">
        <route edges="-e34"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="24" depart="8.64">
        <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e10"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="27" depart="9.72">
        <route edges="e27 e28"/>
    </vehicle>
    <vehicle id="31" depart="11.16">
        <route edges="e25 e6 e30 e31"/>
    </vehicle>
</routes>
```

```

<vehicle id="32" depart="11.52">
  <route edges="e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="34" depart="12.24">
  <route edges="-e36 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="37" depart="13.32">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="38" depart="13.68">
  <route edges="e5 e26 e27 e14 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="39" depart="14.04">
  <route edges="-e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="40" depart="14.40">
  <route edges="e25 e26 e27 e14 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="41" depart="14.76">
  <route edges="e25 e6 e7"/>
</vehicle>
<vehicle id="43" depart="15.48">
  <route edges="e7 e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="44" depart="15.84">
  <route edges="-e16 -e15 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="45" depart="16.20">
  <route edges="-e16 -e15 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="56" depart="20.16">
  <route edges="e14 e15 -e35 e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="57" depart="20.52">
  <route edges="e5 e6"/>
</vehicle>
<vehicle id="59" depart="21.24">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="64" depart="23.04">
  <route edges="e35 e36"/>
</vehicle>
<vehicle id="65" depart="23.40">
  <route edges="-e36 -e15 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="69" depart="24.84">
  <route edges="e31 e15 -e35 e11 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="73" depart="26.28">
  <route edges="e15 -e35 e11 e31 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="76" depart="27.36">
  <route edges="e12 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="78" depart="28.08">
  <route edges="e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="84" depart="30.24">
  <route edges="-e28 -e27 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="85" depart="30.60">
  <route edges="e6 e30 e10 e27"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="89" depart="32.04">
  <route edges="e12 e11 e31 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="90" depart="32.40">
  <route edges="e30 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="92" depart="33.12">
  <route edges="e11 e10"/>
</vehicle>
<vehicle id="95" depart="34.20">
  <route edges="e12 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="98" depart="35.28">
  <route edges="e15 -e35 e11 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="99" depart="35.64">
  <route edges="e7 e34 e35 e36"/>
</vehicle>
<vehicle id="100" depart="36.00">
  <route edges="e7 e8"/>
</vehicle>
<vehicle id="103" depart="37.08">
  <route edges="e11 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="104" depart="37.44">
  <route edges="e11 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="106" depart="38.16">
  <route edges="e13 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="107" depart="38.52">
  <route edges="e6 e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="108" depart="38.88">
  <route edges="e25 e26 e27 e14 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="116" depart="41.76">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="118" depart="42.48">
  <route edges="e5 e6 e7 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="119" depart="42.84">
  <route edges="e26 e27 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="120" depart="43.20">
  <route edges="e12 e11 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="124" depart="44.64">
  <route edges="e29 e30 e31 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="131" depart="47.16">
  <route edges="e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="133" depart="47.88">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="134" depart="48.24">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="137" depart="49.32">
  <route edges="-e26 -e25"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="139" depart="50.04">
  <route edges="-e35 e11 e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="141" depart="50.76">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="144" depart="51.84">
  <route edges="e12 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="146" depart="52.56">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="148" depart="53.28">
  <route edges="e12 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="150" depart="54.00">
  <route edges="e5 e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="152" depart="54.72">
  <route edges="-e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="158" depart="56.88">
  <route edges="e11 e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="169" depart="60.84">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="174" depart="62.64">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="176" depart="63.36">
  <route edges="e6 e30 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="178" depart="64.08">
  <route edges="e6 e30 e31 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="180" depart="64.80">
  <route edges="e30 e31 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="181" depart="65.16">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="182" depart="65.52">
  <route edges="e11 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="185" depart="66.60">
  <route edges="e15 -e35 e11 e31 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="186" depart="66.96">
  <route edges="e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="187" depart="67.32">
  <route edges="e10 e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="188" depart="67.68">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="190" depart="68.40">
  <route edges="e30 e31 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="191" depart="68.76">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e10 e27 e14"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="192" depart="69.12">
  <route edges="e11 e31 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="194" depart="69.84">
  <route edges="e6 e30 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="195" depart="70.20">
  <route edges="e5 e26 e27 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="198" depart="71.28">
  <route edges="e12 e11 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="199" depart="71.64">
  <route edges="e27 e14 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="204" depart="73.44">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e10"/>
</vehicle>
<vehicle id="205" depart="73.80">
  <route edges="e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="206" depart="74.16">
  <route edges="e29 e7 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="207" depart="74.52">
  <route edges="-e28 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="212" depart="76.32">
  <route edges="e14 e15 -e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="213" depart="76.68">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="217" depart="78.12">
  <route edges="e14 e15 -e35 e11 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="220" depart="79.20">
  <route edges="e29 e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="222" depart="79.92">
  <route edges="e5 e26 e27 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="223" depart="80.28">
  <route edges="e30 e31 e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="225" depart="81.00">
  <route edges="e5 e6 e7 e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="226" depart="81.36">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="229" depart="82.44">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="231" depart="83.16">
  <route edges="-e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="232" depart="83.52">
  <route edges="e15 -e35 e11 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="234" depart="84.24">
  <route edges="e30 e31 -e14"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="238" depart="85.68">
  <route edges="e25 e6 e30 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="240" depart="86.40">
  <route edges="e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="244" depart="87.84">
  <route edges="e15 -e35 e11 e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="245" depart="88.20">
  <route edges="-e28 -e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="246" depart="88.56">
  <route edges="e12 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="247" depart="88.92">
  <route edges="e10 e27 e14 e15 -e35 e11 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="248" depart="89.28">
  <route edges="e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="249" depart="89.64">
  <route edges="e13 -e27 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="250" depart="90.00">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="251" depart="90.36">
  <route edges="e11 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="256" depart="92.16">
  <route edges="e31 e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="267" depart="96.12">
  <route edges="e29 e7 e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="269" depart="96.84">
  <route edges="e31 e15 -e35 e11 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="271" depart="97.56">
  <route edges="-e16 -e15 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="272" depart="97.92">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="273" depart="98.28">
  <route edges="e6 e30 e31 e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="275" depart="99.00">
  <route edges="e29 e30 e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="280" depart="100.80">
  <route edges="e12 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="281" depart="101.16">
  <route edges="e14 e15 -e35 e11 e10"/>
</vehicle>
<vehicle id="282" depart="101.52">
  <route edges="e34 e35 e36"/>
</vehicle>
<vehicle id="285" depart="102.60">
  <route edges="e30 e10 e27 e14"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="286" depart="102.96">
  <route edges="e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="288" depart="103.68">
  <route edges="e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="289" depart="104.04">
  <route edges="e12 e11 e31 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="293" depart="105.48">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="294" depart="105.84">
  <route edges="e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="298" depart="107.28">
  <route edges="e29 e30 e31 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="300" depart="108.00">
  <route edges="-e16 -e15 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="302" depart="108.72">
  <route edges="e29 e30"/>
</vehicle>
<vehicle id="305" depart="109.80">
  <route edges="e29 e30 e31 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="306" depart="110.16">
  <route edges="e25 e26 e27 e14 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="307" depart="110.52">
  <route edges="e15 -e35 e11 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="308" depart="110.88">
  <route edges="e31 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="309" depart="111.24">
  <route edges="e29 e30 e31 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="311" depart="111.96">
  <route edges="-e28 -e27 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="313" depart="112.68">
  <route edges="-e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="314" depart="113.04">
  <route edges="e14 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="319" depart="114.84">
  <route edges="e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="321" depart="115.56">
  <route edges="e29 e30 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="322" depart="115.92">
  <route edges="e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="324" depart="116.64">
  <route edges="e13 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="326" depart="117.36">
  <route edges="e6 e30 e31 e15"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="328" depart="118.08">
  <route edges="-e16 -e15 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="330" depart="118.80">
  <route edges="e25 e26 e27 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="332" depart="119.52">
  <route edges="e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="334" depart="120.24">
  <route edges="e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="337" depart="121.32">
  <route edges="e26 e27 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="339" depart="122.04">
  <route edges="-e28 -e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="340" depart="122.40">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="343" depart="123.48">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="345" depart="124.20">
  <route edges="e29 e30 e31 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="346" depart="124.56">
  <route edges="e29 e7"/>
</vehicle>
<vehicle id="353" depart="127.08">
  <route edges="e31 e15 -e35 e11 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="354" depart="127.44">
  <route edges="-e35 e11 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="355" depart="127.80">
  <route edges="e29 e30 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="356" depart="128.16">
  <route edges="e6 e7 e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="359" depart="129.24">
  <route edges="-e36 -e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="362" depart="130.32">
  <route edges="e6 e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="363" depart="130.68">
  <route edges="e29 e30 e31 e15 -e35 -e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="366" depart="131.76">
  <route edges="e5 e6 e30 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="367" depart="132.12">
  <route edges="e25 e6 e30"/>
</vehicle>
<vehicle id="369" depart="132.84">
  <route edges="e10 e27 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="371" depart="133.56">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e31"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="374" depart="134.64">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="375" depart="135.00">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="376" depart="135.36">
  <route edges="e11 e31 e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="378" depart="136.08">
  <route edges="e15 -e35 e11 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="380" depart="136.80">
  <route edges="e31 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="383" depart="137.88">
  <route edges="e12 e11 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="385" depart="138.60">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="388" depart="139.68">
  <route edges="e7"/>
</vehicle>
<vehicle id="389" depart="140.04">
  <route edges="e13 -e27 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="390" depart="140.40">
  <route edges="e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="391" depart="140.76">
  <route edges="e30 e31 e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="393" depart="141.48">
  <route edges="e7 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="394" depart="141.84">
  <route edges="e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="395" depart="142.20">
  <route edges="e5 e26 e27 e14 e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="400" depart="144.00">
  <route edges="-e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="401" depart="144.36">
  <route edges="e25 e6 e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="402" depart="144.72">
  <route edges="e14 e15 -e35 e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="403" depart="145.08">
  <route edges="e15 -e35 e11 e10"/>
</vehicle>
<vehicle id="405" depart="145.80">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="407" depart="146.52">
  <route edges="e25 e6 e7 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="408" depart="146.88">
  <route edges="e31 -e14"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="409" depart="147.24">
  <route edges="e31 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="412" depart="148.32">
  <route edges="e7 e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="414" depart="149.04">
  <route edges="e25 e6"/>
</vehicle>
<vehicle id="416" depart="149.76">
  <route edges="e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="417" depart="150.12">
  <route edges="e30 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="418" depart="150.48">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="419" depart="150.84">
  <route edges="e13 -e27 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="420" depart="151.20">
  <route edges="e10 e27 e14 e15 -e35 e11 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="423" depart="152.28">
  <route edges="e11 e31 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="427" depart="153.72">
  <route edges="e5 e6 e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="428" depart="154.08">
  <route edges="e31 e15 -e35 e11 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="431" depart="155.16">
  <route edges="e29 e7"/>
</vehicle>
<vehicle id="433" depart="155.88">
  <route edges="-e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="435" depart="156.60">
  <route edges="e25 e6 e7 e34 e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="440" depart="158.40">
  <route edges="-e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="442" depart="159.12">
  <route edges="e5 e6 e30 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="444" depart="159.84">
  <route edges="e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="445" depart="160.20">
  <route edges="e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="448" depart="161.28">
  <route edges="e14 e15 -e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="449" depart="161.64">
  <route edges="e25 e26 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="452" depart="162.72">
  <route edges="-e35 e11 e10 e27"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="453" depart="163.08">
  <route edges="e29 e7 e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="454" depart="163.44">
  <route edges="-e15 -e14 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="457" depart="164.52">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e10"/>
</vehicle>
<vehicle id="458" depart="164.88">
  <route edges="e27 e28"/>
</vehicle>
<vehicle id="459" depart="165.24">
  <route edges="e29 e30 e31 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="462" depart="166.32">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="463" depart="166.68">
  <route edges="e12 e11 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="466" depart="167.76">
  <route edges="-e27 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="467" depart="168.12">
  <route edges="e15 -e35 e11 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="470" depart="169.20">
  <route edges="e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="471" depart="169.56">
  <route edges="e33 e34"/>
</vehicle>
<vehicle id="472" depart="169.92">
  <route edges="e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="473" depart="170.28">
  <route edges="e6 e30 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="475" depart="171.00">
  <route edges="e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="476" depart="171.36">
  <route edges="e7 e34 e35"/>
</vehicle>
<vehicle id="479" depart="172.44">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35 e11 e31"/>
</vehicle>
<vehicle id="480" depart="172.80">
  <route edges="e29 e30 e10 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="484" depart="174.24">
  <route edges="e25 e6 e7"/>
</vehicle>
<vehicle id="487" depart="175.32">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="489" depart="176.04">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e31 e15 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="492" depart="177.12">
  <route edges="e29 e7 e34"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="493" depart="177.48">
  <route edges="e6 e30 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="494" depart="177.84">
  <route edges="e31 e15 -e35 e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="496" depart="178.56">
  <route edges="e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="497" depart="178.92">
  <route edges="e6 e30 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="498" depart="179.28">
  <route edges="e11 e10 e27 e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="499" depart="179.64">
  <route edges="e6"/>
</vehicle>
<vehicle id="501" depart="180.36">
  <route edges="e15 -e35 e11 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="502" depart="180.72">
  <route edges="e10 e27 e14 e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="503" depart="181.08">
  <route edges="-e28 -e27 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="506" depart="182.16">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="510" depart="183.60">
  <route edges="-e28 -e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="514" depart="185.04">
  <route edges="-e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="516" depart="185.76">
  <route edges="e27 e14 e15 -e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
</vehicle>
<vehicle id="521" depart="187.56">
  <route edges="e31 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="522" depart="187.92">
  <route edges="e33 e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="524" depart="188.64">
  <route edges="e6 e30 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="526" depart="189.36">
  <route edges="e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="528" depart="190.08">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35 e11"/>
</vehicle>
<vehicle id="529" depart="190.44">
  <route edges="e29 e7 e34 e35 e16"/>
</vehicle>
<vehicle id="530" depart="190.80">
  <route edges="e5 e6 e30 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="531" depart="191.16">
  <route edges="-e16 -e15 -e14 e28"/>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="534" depart="192.24">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="535" depart="192.60">
  <route edges="e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="540" depart="194.40">
  <route edges="e13 e14 e15 -e35 -e34 -e33"/>
</vehicle>
<vehicle id="541" depart="194.76">
  <route edges="e10 e27 e14 e15"/>
</vehicle>
<vehicle id="544" depart="195.84">
  <route edges="e11 e10 -e26"/>
</vehicle>
<vehicle id="545" depart="196.20">
  <route edges="e5 e6 e30 e31 -e14"/>
</vehicle>
<vehicle id="547" depart="196.92">
  <route edges="-e16 -e15 e32"/>
</vehicle>
<vehicle id="549" depart="197.64">
  <route edges="e25 e26 e27"/>
</vehicle>
<vehicle id="550" depart="198.00">
  <route edges="-e36 -e35 e11 e10 -e26 -e25"/>
</vehicle>
<vehicle id="553" depart="199.08">
  <route edges="e30 e10 e9"/>
</vehicle>
<vehicle id="554" depart="199.44">
  <route edges="e26 e27 e14 e15 -e35 e11 e10"/>
</vehicle>
</routes>

```

Código de las rutas alternativas

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!-- generated on 2022-08-20 16:54:36 by Eclipse SUMO duarouter Version 1.14.1
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/duarouterConfiguration.xsd"
>

    <input>
        <net-file value="tfg.net.xml"/>
        <route-files value="tfg.trips.xml"/>
    </input>

    <output>
        <output-file value="tfg.rou.xml"/>
    </output>

</configuration>
-->

<routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
    <vehicle id="0" depart="0.00">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="89.72" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e31 -e14 -e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="1" depart="0.36">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="19.46" probability="1.00000000" edges="-e35 -e34 -e33"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="2" depart="0.72">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="26.95" probability="1.00000000" edges="e30 e31"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="4" depart="1.44">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="57.57" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e31 -e14
-e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="11" depart="3.96">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="28.50" probability="1.00000000" edges="e10 -e26"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="12" depart="4.32">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="59.24" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="13" depart="4.68">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="15.06" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="16" depart="5.76">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="66.63" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e10
e9"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
</routes>
```

```

        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="20" depart="7.20">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="40.17" probability="1.00000000" edges="e30 e31 -e14"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="21" depart="7.56">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="7.14" probability="1.00000000" edges="-e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="24" depart="8.64">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="78.10" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e10"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="27" depart="9.72">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="12.20" probability="1.00000000" edges="e27 e28"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="31" depart="11.16">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="55.50" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e30 e31"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="32" depart="11.52">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="7.14" probability="1.00000000" edges="e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="34" depart="12.24">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="20.14" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 -e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="37" depart="13.32">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="57.54" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="38" depart="13.68">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="46.88" probability="1.00000000" edges="e5 e26 e27 e14
e15"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="39" depart="14.04">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="19.46" probability="1.00000000" edges="-e35 -e34 -e33"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="40" depart="14.40">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="59.55" probability="1.00000000" edges="e25 e26 e27 e14
e15 -e35 -e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="41" depart="14.76">
        <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="43.88" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e7"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="43" depart="15.48">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="38.71" probability="1.00000000" edges="e7 e34 e35 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="44" depart="15.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="27.29" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 -e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="45" depart="16.20">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="32.24" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 -e14
e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="56" depart="20.16">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="78.86" probability="1.00000000" edges="e14 e15 -e35 e11
e10 -e26"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="57" depart="20.52">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="28.50" probability="1.00000000" edges="e5 e6"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="59" depart="21.24">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="95.34" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e10 -e26"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="64" depart="23.04">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="12.20" probability="1.00000000" edges="e35 e36"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="65" depart="23.40">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="27.19" probability="1.00000000" edges="-e36 -e15 -e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="69" depart="24.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="84.44" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35 e11
e10 -e26 -e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="73" depart="26.28">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="58.75" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e31
e32"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="76" depart="27.36">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="19.51" probability="1.00000000" edges="e12 e35 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="78" depart="28.08">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="27.74" probability="1.00000000" edges="e10 e27"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="84" depart="30.24">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="24.51" probability="1.00000000" edges="-e28 -e27 -e26 -
e25"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="85" depart="30.60">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="67.77" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10 e27"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="89" depart="32.04">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="50.22" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e31
e15"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="90" depart="32.40">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="26.95" probability="1.00000000" edges="e30 e31"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="92" depart="33.12">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="37.42" probability="1.00000000" edges="e11 e10"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="95" depart="34.20">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="14.97" probability="1.00000000" edges="e12 -e34"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="98" depart="35.28">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="63.45" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e31
-e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="99" depart="35.64">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="38.81" probability="1.00000000" edges="e7 e34 e35 e36"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="100" depart="36.00">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="25.40" probability="1.00000000" edges="e7 e8"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="103" depart="37.08">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="43.53" probability="1.00000000" edges="e11 e31 -e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="104" depart="37.44">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="46.71" probability="1.00000000" edges="e11 e10 e9"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="106" depart="38.16">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="16.94" probability="1.00000000" edges="e13 e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="107" depart="38.52">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="68.53" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10 e9"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="108" depart="38.88">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="41.60" probability="1.00000000" edges="e25 e26 e27 e14
e32"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="116" depart="41.76">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="78.92" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e31"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="118" depart="42.48">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="53.17" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e7 -e33"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="119" depart="42.84">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="20.14" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e28"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="120" depart="43.20">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="54.48" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e10
e27"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="124" depart="44.64">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="54.24" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31 e15 -
e35"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="131" depart="47.16">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="28.50" probability="1.00000000" edges="e10 -e26"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="133" depart="47.88">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="95.33" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e10 e9"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="134" depart="48.24">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="89.72" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e31 -e14 -e13"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="137" depart="49.32">
  <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="11.51" probability="1.00000000" edges="-e26 -e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="139" depart="50.04">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="57.02" probability="1.00000000" edges="-e35 e11 e31 -e14
e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="141" depart="50.76">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="47.23" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
-e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="144" depart="51.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="14.97" probability="1.00000000" edges="e12 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="146" depart="52.56">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="47.23" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
-e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="148" depart="53.28">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="57.57" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e31 -e14
-e13"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="150" depart="54.00">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="15.32" probability="1.00000000" edges="e5 e26"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="152" depart="54.72">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="11.51" probability="1.00000000" edges="-e26 -e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="158" depart="56.88">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="48.49" probability="1.00000000" edges="e11 e31 -e14
e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="169" depart="60.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="36.27" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="174" depart="62.64">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="57.54" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="176" depart="63.36">
    <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="72.91" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10 -e26 -
e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="178" depart="64.08">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="78.40" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e31 e15 -
e35 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="180" depart="64.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="46.86" probability="1.00000000" edges="e30 e31 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="181" depart="65.16">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.76" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15
e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="182" depart="65.52">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="45.95" probability="1.00000000" edges="e11 e10 e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="185" depart="66.60">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="58.75" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e31
e32"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="186" depart="66.96">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="12.05" probability="1.00000000" edges="e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="187" depart="67.32">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="104.80" probability="1.00000000" edges="e10 e27 e14 e15
-e35 e11 e31 -e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="188" depart="67.68">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="39.29" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="190" depart="68.40">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="46.86" probability="1.00000000" edges="e30 e31 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="191" depart="68.76">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="72.35" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11 e10
e27 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="192" depart="69.12">

```

```

        <routeDistribution last="0">
            <route cost="58.16" probability="1.00000000" edges="e11 e31 e15 -e35
-e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="194" depart="69.84">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="50.54" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e31"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="195" depart="70.20">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="28.32" probability="1.00000000" edges="e5 e26 e27 e28"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="198" depart="71.28">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="54.48" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e10
e27"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="199" depart="71.64">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="30.76" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="204" depart="73.44">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="78.10" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e10"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="205" depart="73.80">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="7.14" probability="1.00000000" edges="e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="206" depart="74.16">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="29.24" probability="1.00000000" edges="e29 e7 -e33"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="207" depart="74.52">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="8.53" probability="1.00000000" edges="-e28 -e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="212" depart="76.32">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="43.07" probability="1.00000000" edges="e14 e15 -e35 -e34
-e33"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="213" depart="76.68">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="89.72" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e31 -e14 -e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="217" depart="78.12">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="75.68" probability="1.00000000" edges="e14 e15 -e35 e11
e31 -e14"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>

```

```

        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="220" depart="79.20">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="52.31" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e10 e9"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="222" depart="79.92">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="28.32" probability="1.00000000" edges="e5 e26 e27 e28"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="223" depart="80.28">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="43.39" probability="1.00000000" edges="e30 e31 e15
e16"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="225" depart="81.00">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="57.16" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e7 e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="226" depart="81.36">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="48.59" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -e35
-e34 -e33"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="229" depart="82.44">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="55.17" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 -e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="231" depart="83.16">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="7.14" probability="1.00000000" edges="-e35"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="232" depart="83.52">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="71.01" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e10
-e26 -e25"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="234" depart="84.24">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="40.17" probability="1.00000000" edges="e30 e31 -e14"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="238" depart="85.68">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="55.50" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e30 e31"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="240" depart="86.40">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="49.04" probability="1.00000000" edges="e11 e31 -e14 -
e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="244" depart="87.84">

```

```

        <routeDistribution last="0">
            <route cost="68.41" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e31
-e14 e28"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="245" depart="88.20">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="12.20" probability="1.00000000" edges="-e28 -e27"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="246" depart="88.56">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="57.57" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e31 -e14
-e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="247" depart="88.92">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="91.57" probability="1.00000000" edges="e10 e27 e14 e15 -
e35 e11 e31"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="248" depart="89.28">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="46.72" probability="1.00000000" edges="e11 e10 -e26"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="249" depart="89.64">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="24.42" probability="1.00000000" edges="e13 -e27 -e26 -
e25"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="250" depart="90.00">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="97.66" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="251" depart="90.36">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="45.95" probability="1.00000000" edges="e11 e10 e27"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="256" depart="92.16">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="50.22" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35
e11"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="267" depart="96.12">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="33.22" probability="1.00000000" edges="e29 e7 e34"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="269" depart="96.84">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="84.44" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35 e11
e10 -e26 -e25"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="271" depart="97.56">
        <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="32.80" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 -e14 -
e13"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="272" depart="97.92">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.89" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11
e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="273" depart="98.28">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="88.71" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e31 e15 -
e35 e11"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="275" depart="99.00">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="52.51" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31 -e14
e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="280" depart="100.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="25.40" probability="1.00000000" edges="e12 e11"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="281" depart="101.16">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="69.57" probability="1.00000000" edges="e14 e15 -e35 e11
e10"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="282" depart="101.52">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="20.14" probability="1.00000000" edges="e34 e35 e36"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="285" depart="102.60">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="56.99" probability="1.00000000" edges="e30 e10 e27
e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="286" depart="102.96">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="44.94" probability="1.00000000" edges="e30 e10 e9"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="288" depart="103.68">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="15.06" probability="1.00000000" edges="e15 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="289" depart="104.04">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="47.36" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e31
e32"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="293" depart="105.48">
    <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="86.15" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -e35
e11 e31 -e14 e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="294" depart="105.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="49.04" probability="1.00000000" edges="e11 e31 -e14 -
e13"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="298" depart="107.28">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="62.18" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31 e15 -
e35 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="300" depart="108.00">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="22.47" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 e32"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="302" depart="108.72">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="19.42" probability="1.00000000" edges="e29 e30"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="305" depart="109.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="54.24" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="306" depart="110.16">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.07" probability="1.00000000" edges="e25 e26 e27 e14
e15"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="307" depart="110.52">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="78.68" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e10
e27 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="308" depart="110.88">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="31.97" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="309" depart="111.24">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="62.18" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31 e15 -
e35 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="311" depart="111.96">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="24.51" probability="1.00000000" edges="-e28 -e27 -e26 -
e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="313" depart="112.68">
    <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="7.14" probability="1.00000000" edges="-e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="314" depart="113.04">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="20.75" probability="1.00000000" edges="e14 e32"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="319" depart="114.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="26.47" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="321" depart="115.56">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="56.69" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e10 -e26
-e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="322" depart="115.92">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="12.10" probability="1.00000000" edges="e35 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="324" depart="116.64">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="16.94" probability="1.00000000" edges="e13 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="326" depart="117.36">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="61.93" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e31 e15"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="328" depart="118.08">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="32.24" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 -e14
e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="330" depart="118.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="51.60" probability="1.00000000" edges="e25 e26 e27 e14
e15 -e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="332" depart="119.52">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="30.23" probability="1.00000000" edges="e31 -e14 e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="334" depart="120.24">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="10.00" probability="1.00000000" edges="e15"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="337" depart="121.32">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="20.14" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="339" depart="122.04">
    <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="12.20" probability="1.00000000" edges="-e28 -e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="340" depart="122.40">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="87.39" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e10 -e26"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="343" depart="123.48">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="55.17" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="345" depart="124.20">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="45.71" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31
e15"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="346" depart="124.56">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="24.28" probability="1.00000000" edges="e29 e7"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="353" depart="127.08">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="79.30" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35 e11
e10 e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="354" depart="127.44">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="59.62" probability="1.00000000" edges="-e35 e11 e10 -e26
-e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="355" depart="127.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="34.32" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="356" depart="128.16">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="60.76" probability="1.00000000" edges="e6 e7 e34 e35
e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="359" depart="129.24">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="24.51" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 -e34 -
e33"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="362" depart="130.32">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="68.53" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10 e9"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="363" depart="130.68">
    <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="62.18" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31 e15 -
e35 -e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="366" depart="131.76">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="77.83" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e30 e10 -
e26"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="367" depart="132.12">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="40.60" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e30"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="369" depart="132.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="59.88" probability="1.00000000" edges="e10 e27 e14 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="371" depart="133.56">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.89" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11
e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="374" depart="134.64">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="36.27" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="375" depart="135.00">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="60.30" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11 e10
e9"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="376" depart="135.36">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="46.75" probability="1.00000000" edges="e11 e31 e15
e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="378" depart="136.08">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="78.68" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e10
e27 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="380" depart="136.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="30.23" probability="1.00000000" edges="e31 -e14 e28"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="383" depart="137.88">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="38.83" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="385" depart="138.60">
    <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="59.55" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 -e34 -e33"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="388" depart="139.68">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="16.87" probability="1.00000000" edges="e7"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="389" depart="140.04">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="24.42" probability="1.00000000" edges="e13 -e27 -e26 -
e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="390" depart="140.40">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="20.04" probability="1.00000000" edges="e34 e35 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="391" depart="140.76">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.39" probability="1.00000000" edges="e30 e31 e15
e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="393" depart="141.48">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="21.83" probability="1.00000000" edges="e7 -e33"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="394" depart="141.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="36.78" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="395" depart="142.20">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="51.94" probability="1.00000000" edges="e5 e26 e27 e14
e15 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="400" depart="144.00">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="7.14" probability="1.00000000" edges="-e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="401" depart="144.36">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="73.49" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e30 e10
e9"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="402" depart="144.72">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="78.86" probability="1.00000000" edges="e14 e15 -e35 e11
e10 -e26"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="403" depart="145.08">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="57.34" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11
e10"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>

```

```

        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="405" depart="145.80">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="36.27" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -
e35"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="407" depart="146.52">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="48.84" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e7 -e33"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="408" depart="146.88">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="25.28" probability="1.00000000" edges="e31 -e14"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="409" depart="147.24">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="20.58" probability="1.00000000" edges="e31 e32"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="412" depart="148.32">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="38.71" probability="1.00000000" edges="e7 e34 e35 e16"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="414" depart="149.04">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="24.17" probability="1.00000000" edges="e25 e6"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="416" depart="149.76">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="10.00" probability="1.00000000" edges="e15"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="417" depart="150.12">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="56.99" probability="1.00000000" edges="e30 e10 e27
e14"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="418" depart="150.48">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="87.39" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e10 -e26"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="419" depart="150.84">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="19.51" probability="1.00000000" edges="e13 -e27 e9"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="420" depart="151.20">
        <routeDistribution last="0">
            <route cost="91.57" probability="1.00000000" edges="e10 e27 e14 e15 -
e35 e11 e31"/>
        </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="423" depart="152.28">
        <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="50.22" probability="1.00000000" edges="e11 e31 e15 -
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="427" depart="153.72">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="77.83" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e30 e10
e9"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="428" depart="154.08">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="92.12" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35 e11
e10 e27 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="431" depart="155.16">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="24.28" probability="1.00000000" edges="e29 e7"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="433" depart="155.88">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="25.40" probability="1.00000000" edges="-e35 e11"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="435" depart="156.60">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="60.76" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e7 e34
e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="440" depart="158.40">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="11.51" probability="1.00000000" edges="-e34 -e33"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="442" depart="159.12">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="59.84" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e30 e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="444" depart="159.84">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="27.74" probability="1.00000000" edges="e10 e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="445" depart="160.20">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="19.96" probability="1.00000000" edges="e27 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="448" depart="161.28">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.07" probability="1.00000000" edges="e14 e15 -e35 -e34
-e33"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="449" depart="161.64">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="19.46" probability="1.00000000" edges="e25 e26 e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="452" depart="162.72">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="54.48" probability="1.00000000" edges="-e35 e11 e10
e27"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="453" depart="163.08">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="33.22" probability="1.00000000" edges="e29 e7 e34"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="454" depart="163.44">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="27.19" probability="1.00000000" edges="-e15 -e14 e28"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="457" depart="164.52">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="86.04" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e10"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="458" depart="164.88">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="12.20" probability="1.00000000" edges="e27 e28"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="459" depart="165.24">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="42.85" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e31
e32"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="462" depart="166.32">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="39.29" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -
e35"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="463" depart="166.68">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="54.48" probability="1.00000000" edges="e12 e11 e10
e27"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="466" depart="167.76">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="19.46" probability="1.00000000" edges="-e27 -e26 -e25"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="467" depart="168.12">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="66.63" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e10
e9"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="470" depart="169.20">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="20.04" probability="1.00000000" edges="e34 e35 e16"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="471" depart="169.56">
  <routeDistribution last="0">

```

```

        <route cost="11.51" probability="1.00000000" edges="e33 e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="472" depart="169.92">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="32.88" probability="1.00000000" edges="e10 -e26 -e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="473" depart="170.28">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="72.91" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10 -e26 -
e25"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="475" depart="171.00">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="44.94" probability="1.00000000" edges="e30 e10 e9"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="476" depart="171.36">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="33.75" probability="1.00000000" edges="e7 e34 e35"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="479" depart="172.44">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="67.96" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -e35
e11 e31"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="480" depart="172.80">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="51.55" probability="1.00000000" edges="e29 e30 e10
e27"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="484" depart="174.24">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="43.88" probability="1.00000000" edges="e25 e6 e7"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="487" depart="175.32">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="72.35" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11 e10
e27 e14"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="489" depart="176.04">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="60.33" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11 e31
e15 e16"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="492" depart="177.12">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="33.22" probability="1.00000000" edges="e29 e7 e34"/>
    </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="493" depart="177.48">
    <routeDistribution last="0">
        <route cost="80.59" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e10 e27
e14"/>
    </routeDistribution>

```

```

</vehicle>
<vehicle id="494" depart="177.84">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="80.07" probability="1.00000000" edges="e31 e15 -e35 e11
e10 -e26"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="496" depart="178.56">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="11.43" probability="1.00000000" edges="e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="497" depart="178.92">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="69.28" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e31 -e14 -
e13"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="498" depart="179.28">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="58.77" probability="1.00000000" edges="e11 e10 e27
e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="499" depart="179.64">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="19.21" probability="1.00000000" edges="e6"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="501" depart="180.36">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="66.63" probability="1.00000000" edges="e15 -e35 e11 e10
e9"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="502" depart="180.72">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="78.14" probability="1.00000000" edges="e10 e27 e14 e15 -
e35 e11"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="503" depart="181.08">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="24.51" probability="1.00000000" edges="-e28 -e27 -e26 -
e25"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="506" depart="182.16">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="97.66" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e31 -e14 -e13"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="510" depart="183.60">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="12.20" probability="1.00000000" edges="-e28 -e27"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="514" depart="185.04">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="11.51" probability="1.00000000" edges="-e26 -e25"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>

```

```

<vehicle id="516" depart="185.76">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="89.72" probability="1.00000000" edges="e27 e14 e15 -e35
e11 e31 -e14 -e13"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="521" depart="187.56">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="23.44" probability="1.00000000" edges="e31 e15"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="522" depart="187.92">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="24.42" probability="1.00000000" edges="e33 e34 e35
e16"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="524" depart="188.64">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="63.77" probability="1.00000000" edges="e6 e30 e31 -
e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="526" depart="189.36">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="10.00" probability="1.00000000" edges="e15"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="528" depart="190.08">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="54.53" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -e35
e11"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="529" depart="190.44">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="46.12" probability="1.00000000" edges="e29 e7 e34 e35
e16"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="530" depart="190.80">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="73.06" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e30 e31 -
e14"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="531" depart="191.16">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="32.24" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 -e14
e28"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="534" depart="192.24">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="60.30" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11 e10
e9"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>
<vehicle id="535" depart="192.60">
  <routeDistribution last="0">
    <route cost="10.00" probability="1.00000000" edges="e15"/>
  </routeDistribution>
</vehicle>

```

```

    <vehicle id="540" depart="194.40">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="48.59" probability="1.00000000" edges="e13 e14 e15 -e35
-e34 -e33"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="541" depart="194.76">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="51.35" probability="1.00000000" edges="e10 e27 e14
e15"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="544" depart="195.84">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="46.72" probability="1.00000000" edges="e11 e10 -e26"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="545" depart="196.20">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="73.06" probability="1.00000000" edges="e5 e6 e30 e31 -
e14"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="547" depart="196.92">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="22.47" probability="1.00000000" edges="-e16 -e15 e32"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="549" depart="197.64">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="19.46" probability="1.00000000" edges="e25 e26 e27"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="550" depart="198.00">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="64.68" probability="1.00000000" edges="-e36 -e35 e11 e10
-e26 -e25"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="553" depart="199.08">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="44.94" probability="1.00000000" edges="e30 e10 e9"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
    <vehicle id="554" depart="199.44">
      <routeDistribution last="0">
        <route cost="86.04" probability="1.00000000" edges="e26 e27 e14 e15 -
e35 e11 e10"/>
      </routeDistribution>
    </vehicle>
  </routes>

```

Código de la configuración de la simulación en SUMO

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>

<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.sf.net/xsd/sumoConfiguration.xsd">

    <input>
        <net-file value="tfg.net.xml"/>
        <route-files value="tfg.rou.xml"/>
    </input>

    <time>
        <begin value="0"/>
        <end value="500"/>
    </time>

</configuration>
```

ANEXO 2

Código del algoritmo PSO

```
import os, sys
import traci
import random
import numpy
import csv
from copy import deepcopy

if 'SUMO_HOME' in os.environ:
    tools = os.path.join(os.environ['SUMO_HOME'], 'tools')
    sys.path.append(tools)
else:
    sys.exit("please declare environment variable 'SUMO_HOME'")

# Configuration
SUMOCMD = "tfg.sumo.cfg"
PARTICLES = 20
TS_START = 0
TS_FINISH = 500
TS = TS_FINISH - TS_START
TMAX = 300
MIN_EPS = 0.001
PARTICLE_CSV = True

def simulation(base_tldata: dict, tlstate) -> dict:
    try:
        print(f"Starting simulation")
        # Initialize traci
        traci.start(["sumo", "-c", SUMOCMD, "--no-step-log",
"true"],label="master", verbose=False)

        # Update traffic light current state
        set_traffic_state(base_tldata, tlstate)

        # Start simulation
        simulation_info = {} # Key es el ID de vehiculos y cada key tiene
una lista [tiempo de viaje, tiempo de espera, ruta finalizada]
        step = 0
        while step < TS_START:
            traci.simulationStep()
            step += 1

        while step < TS_FINISH:
            traci.simulationStep()
            # Get list oif vehicles in each step and their respective data:
            step_info = {}
            IDs=traci.vehicle.getIDList()
            for id in IDs:
                step_info[id] = traci.vehicle.getSpeed(id)

            # Addition of new vehicles to dictionary
            for id in IDs:
                if id not in simulation_info.keys():
                    simulation_info[id] = [0, 0, 0] # [tiempo de viaje,
tiempo de espera, ruta finalizada]

            # Update dictionary
            for id in IDs:
```

```

        update_value = simulation_info[id]
        # Tiempo de viaje y tiempo de espera
        if step_info[id] > 0:
            update_value[0] += 1
        elif step_info[id] == 0:
            update_value[1] += 1
        # Update dictionary with new data
        simulation_info[id] = update_value

    # Next step mark
    step += 1

# Close simulation and traci
traci.close()

# Numero de vehiculos que han alcanzado su destino
for id in simulation_info.keys():
    if id not in IDs:
        update_value = simulation_info[id]
        update_value[2] = 1

# Extract total travel time, waiting time, finished trips and open
trips
travel_time = 0
waiting_time = 0
finished_trips = 0
open_trips = 0
for id in simulation_info:
    travel_time += simulation_info[id][0]
    waiting_time += simulation_info[id][1]
    if simulation_info[id][2] == 1:
        finished_trips += 1
    else:
        open_trips += 1

except:
    print("Simulation failed. Setting values to the worst case scenario")
    travel_time = sys.maxsize
    waiting_time = sys.maxsize
    finished_trips = 0
    open_trips = sys.maxsize

return {"TV": travel_time, "TE": waiting_time, "V": finished_trips, "ND":
open_trips}

def get_traffic_state() -> dict:
    # Initialize and get all IDs
    started = False
    if not traci.isLoaded():
        started = True
        traci.start(["sumo", "-c", SUMOCMD])
    IDs = traci.trafficlight.getIDList()

    tldata = {}
    # Extract data of each traffic light
    for id in IDs:
        logics = traci.trafficlight.getAllProgramLogics(id)
        num_logic = traci.trafficlight.getProgram(id)
        for logic in logics:
            if logic.programID == num_logic:
                tldata[int(id)] = logic.phases

```

```

    if started == True:
        traci.close()
    return tldata

def set_traffic_state(base_tldata: dict, tlstate) -> dict:
    update_tldata = deepcopy(base_tldata)
    # Calculate new phases
    for i, id in enumerate(update_tldata):
        total_duration = 0
        # Calculate duration
        for phase in range(len(update_tldata[id])):
            total_duration += update_tldata[id][phase].duration

        # Update phases
        for phase in range(len(update_tldata[id])):
            aux = int(tlstate[i] *
update_tldata[id][phase].duration/total_duration)
            update_tldata[id][phase].duration = aux
            update_tldata[id][phase].dmin = aux
            update_tldata[id][phase].dmax = aux

        # Update trafficlight
        logic = traci.trafficlight.Logic(str(id), 0, 0, update_tldata[id])
        traci.trafficlight.setProgramLogic(str(id), logic)
        traci.trafficlight.setProgram(str(id), str(id))
    return

if __name__ == "__main__":

    # Get traffic light state
    base_tldata = get_traffic_state()

    # Run base simulation
    base_simulation = simulation(base_tldata, [90 for i in
range(len(base_tldata))])
    tv = base_simulation["TV"]
    te = base_simulation["TE"]
    v = base_simulation["V"]
    nd = base_simulation["ND"]
    print("Base case:")
    print(f"travel time: {tv}")
    print(f"Waiting time: {te}")
    print(f"Finished trips: {v}")
    print(f"Open trips: {nd}")

    # PSO fixed parameters
    wmin=0.1 #minimum inertia factor
    wmax=0.5 #maximum inertia factor
    dmin=40 #minimum cycle duration
    dmax=210 #maximum cycle duration
    vmin=10 #minimum speed of particles
    vmax=50 #maximum speed of particles
    phi1= 2 #cognitive component
    phi2= 2 #social component
    z=7 #number of traffic lights
    w=wmax

    # PSO variables
    t=0 # Iteration control
    x=[] # matrix of cycles
    b=[] # best cycle

```

```

y=[] # matrix best cycles
vel=[] # matrix speed
f=[] # fitness values
nf=[] # new fitness
eps=[] # epsilon values
epsilon = float('inf')

# Cycle vectors initialization
for i in range(PARTICLES):
    new_particle = [random.randint(dmin, dmax) for i in
range(len(base_tldata))]
    x.append(new_particle)
    y.append(new_particle)
    vel.append([random.randint(vmin, vmax) for i in
range(len(base_tldata))])

# Fitness initialization
f = [float('inf') for i in range(PARTICLES)]
nf = [float('inf') for i in range(PARTICLES)]
eps = [float('inf') for i in range(PARTICLES)]

while t <= TMAX or epsilon < MIN_EPS:
    # Simulate for new particles and determine their fitness value
    for i, row in enumerate(x):
        new_simulation = simulation(base_tldata, row) #simulation
        tv = new_simulation["TV"]
        te = new_simulation["TE"]
        v = new_simulation["V"]
        nd = new_simulation["ND"]
        print(f"Step: {t}")
        print(f"Particle: {i}")
        print(f"travel time: {tv}")
        print(f"Waiting time: {te}")
        print(f"Finished trips: {v}")
        print(f"Open trips: {nd}")
        nf[i] = (tv+te+nd*TS)/(v^2)

    # Store results
    if PARTICLE_CSV:
        if t == 0:
            with open(f"results/particle_{i}.csv", 'w') as file:
                writer = csv.writer(file)
                header = ['Step']
                header.append("Travel time")
                header.append("Waiting time")
                header.append("Finished trips")
                header.append("Open trips")
                header.append("Fitness value")
                writer.writerow(header)

            with open(f"results/particle_{i}.csv", 'a', newline='\n') as
file:

                writer = csv.writer(file)
                row = [t, tv, te, v, nd, nf[i]]
                writer.writerow(row)

    # Apply PSO
    min_f = float('inf')
    position = 0
    for i in range(PARTICLES):
        # Update fitness values
        if nf[i] < f[i]:
            eps[i] = f[i] - nf[i]

```

```

        f[i] = nf[i]
        y[i] = x[i]

    # Update epsilon values
    if min_f > f[i]:
        epsilon = eps[i]
        min_f = f[i]
        position = i

# Actualization
# Initialize phi
phi1 = 2*random.random()
phi2 = 2*random.random()
n_vel = numpy.array(vel)
n_y = numpy.array(y)
n_x = numpy.array(x)

for i in range(PARTICLES):
    # Calculate new velocities
    n_vel[i] = w * n_vel[i] + phi1*(n_y[i] - n_x[i]) +
    phi2*(n_y[position] - n_x[i])

    # Update positions and velocity
    vel[i] = n_vel[i]
    x[i] = n_x[i] + n_vel[i]

# Status update
print("#"*80)
print(f"Step: {t}")
print(f"New fitness values: {f}")
print(f"New epsilon: {epsilon}")
print(f"New best cycle duration: {n_y[position]}")
print("#"*80)

# open the file in the write mode
if t == 0:
    with open('results/results.csv', 'w') as file:
        writer = csv.writer(file)
        header = ['Step']
        for i in range(len(f)):
            header.append(f"Fitness {i}")
        header.append("epsilon")
        for i in range(len(n_y[position])):
            header.append(f"Duration {i}")
        writer.writerow(header)

with open('results/results.csv', 'a', newline='\n') as file:
    writer = csv.writer(file)
    row = [t]
    for element in f:
        row.append(element)
    row.append(epsilon)
    for element in n_y[position]:
        row.append(element)
    writer.writerow(row)

# Iteration count
t += 1
w=wmax-((wmax-wmin)/TMAX)*t

```

Bibliografía

- [1] J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio, "Applying a traffic lights evolutionary optimization technique to a real case: "Las Ramblas" area in Santa Cruz de Tenerife," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 12, no. 1, pp. 25 – 40, feb. 2008.
- [2] F. Webster, "Traffic Signal Settings", HMSO, London, UK, 1958.
- [3] Akcelik, R . Traffic signals: capacity and timing analysis. Research report ARR no. 123, March 1981. Melbourne, VIC, Australia: Australian Road Research Board.
- [4] Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, DC, USA, 2010
- [5] De Schutter, B. and De Moor, B. (1998) "Optimal traffic light control for a single intersection", *European Journal of Control*, 4, 3, pp. 260-276.
- [6] Godoy G., "Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico". Lima, Perú. 2015
- [7] Wu,Y., Lu,J., Chen,H., "Development of an Optimization Traffic Signal Cycle Length Model for Signalized Intersections in China", 2015.
- [8] Fernández,L., Socorro,C., Pedreira,L. , "Estudio de la optimización del tráfico en un cruce a través del ajuste de los ciclos de los semáforos mediante recocido simulado".
- [9] Wenlong, J., "A link queue model of network traffic flow", 2013.
- [10] Dominguez, P., Cortínez,V., "Un enfoque de optimización para el control de semáforos", 2016.
- [11] L. Han and J. Li, "Short or long—Which is better? Probabilistic approach to cycle length optimization", *Transportation Research Record*, vol. 2035, pp. 150-157, 2007.
- [12] García-Nieto,J., Alba, E., and Olivera. A, "Swarm intelligence approach for the traffic light scheduling: Application to real urban areas", *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, vol. -, pp. In Press, 2011.
- [13] Stolfi, D.H., "Optimización del tráfico rodado en ciudades inteligentes", 2012.

- [14] Loiseau, I., (Octubre, 2007). Optimización en sistemas de control de semáforos: Verde, amarillo, rojo. En: Encrucijadas, no. 42. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires.
- [15] G. Rivera Saavedra and L. A. Velásquez Ochochoque, "Determinación de ciclos semafóricos optimizados con Synchro 10.0 aplicados y evaluados en intersecciones de gran congestión vehicular con el software PTV Vissim 9.0," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, 2019.
- [16] L. F. Pedraza, C. A. Hernández, and D. A. López, "Control de tráfico vehicular usando ANFIS," Revista chilena de Ingeniería, vol. 20, no. 1, pp. 79–88, 2012.
- [17] M. Jiménez and I. Sarmiento, "Sistema adaptativo de control y optimización del tráfico de un corredor vial semaforizado. Aplicación a la ciudad de Medellín," Dyna, vol. 78, no. 169, pp. 71–78, 2011. 172, 182
- [18] Aranda, J., Escobar-Amado, C., Sepúlveda-Mora, S., Castro-Casadiegos, S., Medina-Delgado, B. and Ramírez-Mateus, J., 2022. "Control adaptativo para optimizar una intersección semafórica basado en un sistema embebido".
- [19] Órdenes Odi, J. (2017). "Optimización de la programación de semáforos basada en las tasas de ocupación de buses y automóviles"
- [20] Li, H., Wang, D., Qu, Z., "Research on the optimal method of cycle length for signalized intersection". Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering (2004). 2004
- [21] Gómez González, M., " Sistema de generación eléctrica con pila de combustible de óxido sólido alimentado con residuos forestales y su optimización mediante algoritmos basados en nubes de partículas" 2008.
- [22] Lamos Diaz, H., Galvan Nuñez, S., Gonzalez Villamizar, L. Cruz Jimenez, C., 2013. "Algoritmo PSO-Híbrido para solucionar el problema de ruteo de vehículos con entrega y recolección simultáneas". Colombia: Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, pp.75-90.
- [23] García Nieto, J., 2006. "Algoritmos Basados en Cúmulos de Partículas Para la Resolución de Problemas Complejos".
- [24] Zambrano Martinez, J. (2015). "Sistema centralizado para la optimización del tráfico mediante un servidor de rutas".
- [25] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzewicz, D., "SUMO – Simulation of Urban MObility: An Overview" The Third International Conference on Advances in System Simulation. ThinkMind. SIMUL 2011, 23.-28. Okt. 2011, Barcelona.

- [26] Drake, F., 2003. *“An introduction to python”*. Bristol: Network Theory Limited.
- [27] SUMO (2001–2009) SUMO web pages. <http://sumo.sf.net>