



**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

# Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

## Simulación de semáforo inteligente

*Smart traffic light simulation*

David Dorta Acosta

La Laguna, 5 de julio de 2019

**D. Iván Castilla Rodríguez**, con N.I.F. 78.565.451-G Profesor Ayudante Doctor adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutor

**D. Rafael Arnay del Arco**, con N.I.F. 78.569.591-G Profesor Ayudante Doctor adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como cotutor

### **CERTIFICA (N)**

Que la presente memoria titulada:

“Simulación de semáforo inteligente”

ha sido realizada bajo su dirección por D. David Dorta Acosta,  
con N.I.F. 78.565.245-M.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 5 de julio de 2019

# Agradecimientos

A mis padres, hermano, sobrinos, amigos/as, a mi pareja, en definitiva, a toda mi familia que me han tenido que aguantar todos estos años de carrera y han sido un apoyo fundamental para esta etapa que llega a su fin.

A Iván Castilla y Rafael Arnay, tutor y cotutor, primero por proponer un TFG tan interesante y segundo por su inestimable colaboración, apoyo y guía durante todo este TFG.

Al Cabildo de Tenerife por su colaboración por darnos acceso a los datos de las carreteras utilizadas en este TFG.

A todos los amigos que saco de todos estos años de carrera, que me han acompañado y ayudado en esta etapa, en especial mención a Carlos Fernández Donate e Iván González

# Licencia



© Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

# Resumen

*La rotonda del Padre Anchieta, está ubicada en un sitio estratégico por el que confluyen los diferentes accesos a una de las arterias de La Laguna que es la Avenida Trinidad, a los diferentes edificios de la Universidad de La Laguna, a la estación de guaguas de La Laguna, a la Esperanza y a Geneto. Esto hace que se generen a diario retenciones importantes que afectan incluso a la TF5, siendo esta rotonda un punto conflictivo para el tráfico de la isla.*

*La tecnología, hoy en día nos permite buscar posibles soluciones económicas y de fácil implementación como pueden ser los semáforos inteligentes que vamos a tratar en este TFG.*

*Por lo explicado anteriormente, vamos a analizar el impacto que tendría la implementación de semáforos inteligentes en la rotonda del Padre Anchieta. Analizaremos si este tipo de semáforos, puede reducir las retenciones permitiendo una mayor intensidad media diaria de vehículos (I.M.D) y peatones, a través de la utilización de cámaras o sensores y un algoritmo matemático el cual controlará las fases de los diferentes semáforos.*

*Para realizar este análisis, necesitamos disponer de alguna evidencia que compruebe si la implantación de estos semáforos es viable o no, para esto, utilizaremos la simulación por software que nos da la herramienta Anylogic.*

*Anylogic nos permite realizar simulaciones de diferentes escenarios existentes hoy en día, ya sea para simular desde el tráfico en una vía, a la venta de tickets en una estación de tren, a las mejores ubicaciones de las paradas en una estación de guaguas, etc. De esta manera y comparando diferentes escenarios podremos analizar la viabilidad de estos semáforos en la rotonda del Padre Anchieta.*

**Palabras claves:** Semáforos inteligentes, intensidad media diaria de vehículos, algoritmo matemático, fases semáforos, tráfico.

# Abstract

*The Padre Anchieta roundabout is located in a strategic place through which the different accesses to one of the arteries of La Laguna, which is the Trinidad Avenue, to the different buildings of the University of La Laguna, to the bus station of La Laguna, to La Esperanza and to Geneto, converge. This means that important retentions are generated on a daily basis that even affect the TF5, this roundabout being a conflictive point for the island's traffic.*

*Today's technology allows us to look for possible economic solutions that are easy to implement, such as the intelligent traffic lights that we are going to deal with in this TFG.*

*As explained above, we are going to analyze the impact that the implementation of intelligent traffic lights would have in the Padre Anchieta roundabout. We will analyze if this type of traffic lights, can reduce the retentions allowing a greater daily average intensity of vehicles (I.M.D) and pedestrians, through the use of cameras or sensors and a mathematical algorithm which will control the phases of the different traffic lights.*

*To carry out this analysis, we need to have some evidence that proves whether the implementation of these traffic lights is viable or not, for this, we will use the simulation software that gives us the Anylogic tool.*

*Anylogic allows us to perform simulations of different scenarios existing today, either to simulate from traffic on a track, to the sale of tickets at a train station, to the best locations of stops at a bus station, etc. In this way and comparing different scenarios we will be able to analyse the viability of these traffic lights in the Padre Anchieta roundabout.*

**Keywords:** Smart traffic lights, average vehicle intensity, mathematical algorithm, traffic light phases, traffic.

# Índice general

<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Motivación	1
1.2	Antecedentes	1
1.2.1	Semáforos actuales.	1
	Definición y características.	1
1.2.2	Semáforo inteligente.	1
	Definición y características.	1
	Implantación de semáforos inteligentes con éxito.	2
1.3	Soluciones existentes	3
1.4	Objetivo perseguido.	4
1.5	Planificación inicial.	4
<b>Capítulo 2</b>	<b>Metodología</b>	<b>5</b>
2.1	Metodología de trabajo.	5
2.2	Herramientas.	5
2.2.1	Anylogic.	5
2.2.2	Github.	5
2.2.3	Microsoft Office Word 2016.	6
2.2.4	Microsoft PowerBI.	6
2.2.5	Google Maps.	6
2.3	Desarrollo del TFG.	6
2.3.1	Modelo conceptual.	6
2.3.2	Fuentes de datos.	7
2.3.3	Implementación.	9
2.3.3.1	Escenario 1: Sistema actual de la rotonda del Padre Anchieta.	10
2.3.3.2	Escenario 2: Sistema sin peatones.	11
2.3.3.3	Escenario 3: Sistema con pulsadores.	11
2.3.3.4	Escenario 4: Sistema con semáforos inteligentes.	13
2.3.4	Diseños lógicos de circulación de vehículos y tránsito de peatones.	16
2.3.4.1	Vehículos.	16
2.3.4.2	Peatones.	17
2.3.5	Ejecución de los experimentos.	17
2.3.6	Validación.	19
<b>Capítulo 3</b>	<b>Resultados</b>	<b>18</b>
3.1	Simulaciones.	18
3.2	Resultados por escenario.	18
3.2.1	Escenario 1: Sistema Actual de la rotonda del Padre Anchieta.	18
3.2.2	Escenario 2: Sistema sin peatones.	20
3.2.3	Escenario 3: Sistema con pulsadores.	21
3.2.4	Escenario 4: Sistema con semáforos inteligentes.	24
3.3	Resultados totales por escenario.	26
<b>Capítulo 4</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras</b>	<b>27</b>

<b>Capítulo 5</b>	<b>Summary and Conclusions</b>	<b>28</b>
<b>Capítulo 6</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>29</b>
<b>Apéndices</b>		<b>30</b>
Apéndice 1 - Algoritmo de control de semáforos		30
Apéndice 2 - Diseños lógicos de circulación		34
Escenario 1:		34
Escenario 2:		36
Escenario 3:		37
Escenario 4:		39
Tabla velocidades peatones		41
Apéndice 3 – Resultados por escenario		42
Escenario 1:		42
Escenario 2:		44
Escenario 3:		45
Escenario 4:		47
<b>Bibliografía</b>		<b>49</b>

# Índice de figuras

Figura 1: Funcionamiento semáforo inteligente [2] .....	2
Figura 2: Funcionamiento visual de una turbo rotonda [4] .....	3
Figura 3: Pasarela peatonal del Padre Anchieta [5] .....	3
Figura 4: Power BI selección carretera. ....	7
Figura 5: Bibliotecas de Anylogic. ....	9
Figura 6: Escenario base.....	9
Figura 7: Escenario 1 – Sistema actual de la rotonda del Padre Anchieta. ....	10
Figura 8: Escenario 1 – Sistema actual de la rotonda del Padre Anchieta. ....	11
Figura 9: Escenario 3 – Sistema con pulsadores. ....	12
Figura 10: Escenario 3 - Configuración “Ped Wait” .....	13
Figura 11: Escenario 4 – Sistema con semáforos inteligentes.....	14
Figura 12: Escenario 4 – Sistema con semáforos inteligentes.....	15
Figura 13: Esquema de creación del diseño lógico de circulación de vehículos.....	16
Figura 14: Esquema de creación del diseño lógico de circulación de peatones.....	17
Figura 15: Escenario 1 – Histograma de los vehículos salientes del sistema. ....	19
Figura 16: Escenario 1 – Histograma promedio de vehículos en el sistema. ....	19
Figura 17: Escenario 1 – Histograma de peatones salientes del sistema. ....	20
Figura 18: Escenario 2 – Histograma de los vehículos salientes del sistema. ....	21
Figura 19: Escenario 2 – Histograma promedio de vehículos en el sistema. ....	21
Figura 20: Escenario 3 – Histograma de vehículos salientes del sistema. ....	22
Figura 21: Escenario 3 – Histograma promedio de vehículos en el sistema. ....	23
Figura 22: Escenario 3 – Gráfica peatones salientes del sistema. ....	23
Figura 23: Escenario 4 – Histograma de vehículos salientes del sistema. ....	24
Figura 24: Escenario 4 – Gráfica promedio de vehículos en el sistema.....	25
Figura 25: Escenario 4 – Gráfica peatones salientes del sistema. ....	25
Figura 26: Gráfica comparativa de vehículos que salen del sistema.....	27
Figura 27: Escenario 1 - Diseño lógico de circulación de vehículos.....	34
Figura 28: Escenario 1 - Diseño lógico de circulación de peatones.....	35
Figura 29: Escenario 2 - Diseño lógico de circulación de vehículos.....	36
Figura 30: Escenario 3 - Diseño lógico de circulación de vehículos.....	37
Figura 31: Escenario 3 - Diseño lógico de circulación de peatones.....	38
Figura 32: Escenario 4 - Diseño lógico de circulación de vehículos.....	39
Figura 33: Escenario 4 - Diseño lógico de circulación de peatones.....	40

# Índice de tablas

Tabla 1: Planificación inicial .....	4
Tabla 2: Datos carril descendente lento TF5 .....	8
Tabla 3: Datos carril ascendente lento TF5.....	8
Tabla 4: Parámetros iniciales. ....	8
Tabla 5: Resultados totales escenario 1 y escenario 2. ....	26
Tabla 6: Resultados totales escenario 3 y escenario 4. ....	26
Tabla 7: Presupuesto.....	29
Tabla 8: Relación velocidad de peatones caminando [8] .....	41
Tabla 9: Escenario 1 - Resultados de origen y salida de vehículos. ....	42
Tabla 10: Escenario 1 - Resultados totales de vehículos. ....	42
Tabla 11: Escenario 1 - Resultados de origen y salida de peatones. ....	43
Tabla 12: Escenario 1 - Resultados totales de peatones. ....	43
Tabla 13: Escenario 2 - Resultados de origen y salida de vehículos. ....	44
Tabla 14: Escenario 2 - Resultados totales de vehículos. ....	44
Tabla 15: Escenario 3 - Resultados de origen y salida de vehículos. ....	45
Tabla 16: Escenario 3 - Resultados totales de vehículos. ....	45
Tabla 17: Escenario 3 - Resultados de origen y salida de peatones. ....	46
Tabla 18: Escenario 3 - Resultados totales de peatones. ....	46
Tabla 19: Escenario 4 - Resultados de origen y salida de vehículos. ....	47
Tabla 20: Escenario 4 - Resultados totales de vehículos. ....	47
Tabla 21: Escenario 4 - Resultados de origen y salida de peatones. ....	48
Tabla 22: Escenario 4 - Resultados totales de peatones. ....	48

# Capítulo 1 Introducción

En este TFG, vamos a abordar como modelo de implantación de los semáforos inteligentes la rotonda del Padre Anchieta, debido a que es una de las mayores fuentes de atascos en el entorno de la Universidad y en las rutas tanto desde el norte de la isla a la zona capitalina como a la inversa. Esta rotonda es ideal para estudiar el impacto de estos semáforos debido al gran número de peatones que pasan por ella utilizando los diferentes pasos de peatones que existen en ella, así como también las 6 entradas y 7 salidas de vehículos de las que dispone, las cuales, al colapsarse, afectan al tráfico existente en la autopista TF-5.

A lo largo de este TFG, iremos explicando como se ha realizado el estudio de impacto de estos semáforos, comparando los resultados del mismo con diferentes escenarios y así probar si el uso de éstos mejora la circulación dentro de esta rotonda.

## 1.1 Motivación

La motivación para seleccionar este TFG, es por la gran utilidad e impacto que puede llegar a tener la implantación de este tipo de semáforos, no sólo en la rotonda del Padre Anchieta si no en el resto de rotondas e intersecciones donde se generen grandes retenciones.

También es un reto el poder abordar el análisis de los semáforos inteligentes y su viabilidad en un modelo tan complejo como la rotonda del Padre Anchieta.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Semáforos actuales.

#### Definición y características.

Técnicamente se les conoce como señales de control de tráfico. Se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico de vehículos y el tránsito peatonal. El primer semáforo, diseñado por John Peake Knight, se instaló en Londres en 1868. [1]

Las características de los semáforos son:

- Constan de 3 fases diferenciadas por colores,
  - **Rojo:** Detenerse inmediatamente
  - **Amarillo o Ámbar:** Detenerse y, en caso de no dar tiempo, pasar con precaución.
  - **Verde:** Avanzar
- Las fases cambian atendiendo sólo a un tiempo prefijado con anterioridad.

### 1.2.2 Semáforo inteligente.

#### Definición y características.

Los semáforos inteligentes son una evolución de los semáforos tradicionales, a los que se les puede dotar de inteligencia artificial, de manera que, sabiendo el flujo de peatones/vehículos, se podrían modificar las diferentes fases del mismo en tiempo real y así conseguir reducir dicho flujo, en la figura 1 podemos ver cómo es su funcionamiento.

Sus características son,

- Obtienen la densidad del tráfico de vehículos y tránsito de peatones a través de cámaras y/o sensores.
- Resuelven un algoritmo con los datos obtenidos del tráfico de vehículos y tránsito de peatones, el cual indicará cual es el mejor tiempo de las fases de los semáforos. Aplican un algoritmo para calcular el mejor tiempo de cada una de sus fases a partir de los datos obtenidos.

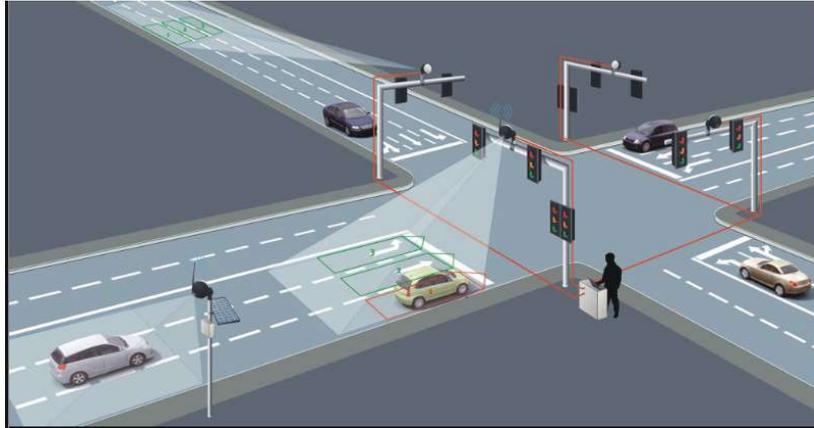


Figura 1: Funcionamiento semáforo inteligente [2]

### **Implantación de semáforos inteligentes con éxito.**

Londres ha sido la pionera en la implantación de este tipo de semáforos, y debido a su éxito, ya tiene planeado aumentar este tipo de semáforos por toda la ciudad. Dará prioridad a los peatones y aquellos que se mueven en bicicleta.

Otra de las ciudades que ha puesto a prueba los semáforos inteligentes es Pittsburgh (Estados Unidos), obteniendo como resultado una reducción del 40% los tiempos de espera de los vehículos. [3]

### 1.3 Soluciones existentes

Las soluciones existentes que podemos tener para agilizar las rotondas son:

- **Turbo rotondas:** Son rotondas que guían al vehículo a través de ella, permitiendo sólo a los vehículos de carril de la derecha salir por la primera salida o la segunda salida, y a los del carril de la izquierda poder salir por la segunda salida o sucesivas, con esto el conductor tiene que saber antes de entrar a la rotonda a qué salida se quiere dirigir [4]. En la figura 2 se muestra su funcionamiento,

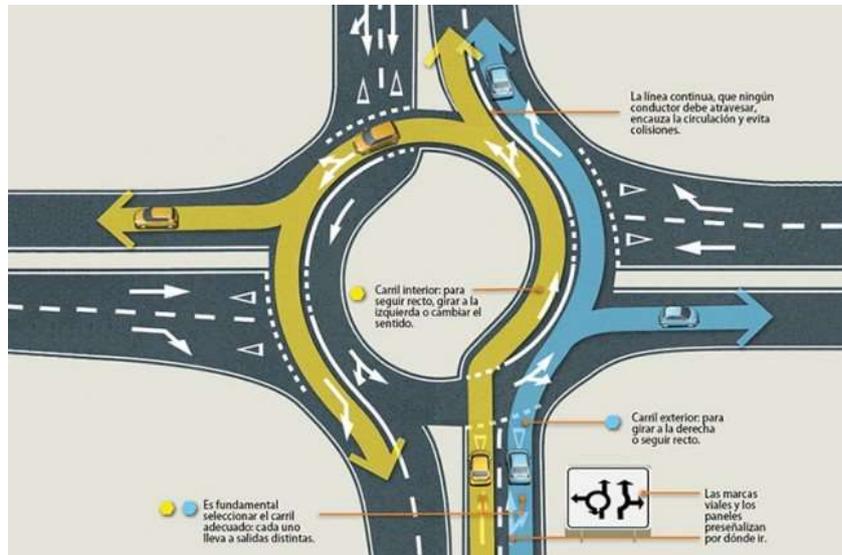


Figura 2: Funcionamiento visual de una turbo rotonda [4]

- **Pasarela Peatonal:** Con esta pasarela peatonal se pretende eliminar a los peatones de la rotonda por donde circulan los vehículos y de esta manera aumentar la intensidad media diaria de vehículos que es el número de vehículos que pasan por una sección durante un año, dividido por 365 (I.M.D).

En la figura 3 se muestra la propuesta del Cabildo [5] sobre este tipo de pasarela en el Padre Anchieta y realizada por la empresa Fhecor Ingenieros Consultores.



Figura 3: Pasarela peatonal del Padre Anchieta [5]

## 1.4 Objetivo perseguido.

Los objetivos perseguidos son,

1. Aprender a utilizar la herramienta Anylogic.
2. Realizar el diseño de la rotonda del Padre Anchieta con semáforos inteligentes.
3. Estudiar el impacto de los semáforos inteligentes en la rotonda del Padre Anchieta.
4. Evaluar el impacto de la instalación de los semáforos inteligentes en las retenciones en la rotonda del Padre Anchieta.

## 1.5 Planificación inicial.

Se ha generado un diagrama de Gantt para poder realizar el proyecto a través de pequeños hitos que nos permitan llegar al final de este TFG, que podemos ver en la tabla 1.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Inicio del TFG</b>						
- Realizar un planing del TFG						
- Buscar y organizar la información						
<b>Desarrollo del TFG</b>						
- Elección de la herramienta a utilizar						
- Modelar la rotonda del Padre Anchieta						
- Investigar densidad peatones/vehículos						
- Estudio impacto semáforos inteligentes						
- Análisis de resultados y/o conclusiones						
<b>Redacción del TFG</b>						
<b>Evaluación antes de la defensa del TFG</b>						
- Revisión (profesorado, expertos, ...)						
- Corrección si procede						
<b>Preparación de la defensa del TFG</b>						

Tabla 1: Planificación inicial

# Capítulo 2 Metodología

En el capítulo anterior se ha presentado una introducción con la información relativa al proyecto, necesaria para entender, a grandes rasgos, los temas relacionados con este trabajo. En este capítulo, se expondrán la metodología utilizada para el desarrollo de este TFG, las diferentes herramientas utilizadas, con una breve explicación a modo de introducción al lector. También se explicará la fase de desarrollo en donde indicaremos el modelo conceptual utilizado, los diferentes escenarios generados y los resultados obtenidos.

## 2.1 Metodología de trabajo.

La metodología de trabajo seguida en este proyecto fue definida desde la primera reunión y llevada a cabo durante el resto del tiempo de trabajo. Esta consistió en:

- Definir los hitos o metas a desarrollar por el alumno.
- Reuniones de control cada dos semanas, donde se presentaba lo trabajado hasta ese punto, los problemas encontrados, y las modificaciones tomadas, recibiendo un feedback por parte de los tutores.
- Para dudas puntuales y dada la gran disposición de los tutores, se utilizó también el correo electrónico como medio de comunicación.
- Utilización de las herramientas que se describen a continuación.

## 2.2 Herramientas.

### 2.2.1 Anylogic.

Se optó por este software, ya que es una de las herramientas punteras del mercado en cuanto diseño de modelos de simulación. Nos permite tomar decisiones inteligentes dentro del modelo, y representar fácilmente los sistemas más complejos y heterogéneos con el nivel de detalle deseado. En su versión gratuita nos permite tener acceso a la gran mayoría de opciones de esta herramienta, facilitándonos mucho la elaboración del modelo de simulación del Padre Anchieta.

Al estar desarrollada en Java, nos da versatilidad a la hora de poder modificar las acciones de cada elemento de la librería, también nos permite realizar una simulación de 1 hora, tiempo suficiente para poder analizar cómo actúa nuestro modelo propuesto en una hora punta.

### 2.2.2 Github.

GitHub es una plataforma de desarrollo colaborativo para alojar proyectos utilizando el sistema de control de versiones Git. Su función principal es la de almacenar el código de un determinado programa, así como sus diferentes versiones, documentación, despliegue, etc.

Esta herramienta me ha permitido poder tener un control de versiones, y así no sólo ir cumpliendo los hitos marcados, sino mantener un orden en todo el proyecto y en caso de equivocación en alguna prueba, poder volver a una versión anterior.

### 2.2.3 Microsoft Office Word 2016.

Microsoft Office Word es un potente editor y procesador de textos desarrollado por la empresa Microsoft.

He usado Word porque estoy bastante familiarizado con él, lo cual me ha facilitado mucho a la hora de redactar esta memoria.

### 2.2.4 Microsoft PowerBI.

Es una herramienta de Microsoft, con la que se obtiene un servicio de análisis empresarial que proporciona información detallada para permitir la toma de decisiones rápidas e informadas.

El Cabildo nos ha dado acceso, para la consulta de las intensidades, a la parte que disponen ellos con los datos de las I.M.D de cada carretera.

### 2.2.5 Google Maps.

Herramienta de Google que nos permite tener una imagen satélite de las carreteras.

## 2.3 Desarrollo del TFG

### 2.3.1 Modelo conceptual.

Tal y como explicamos en la introducción, vamos a partir de la situación actual de la rotonda del Padre Anchieta, sin semáforos, ni señales que regulen el tráfico dentro la rotonda, ni el tránsito de peatones y llegar a modelar un escenario en que podamos comprobar si con la introducción de este tipo de semáforos se mejora las actuales retenciones que se producen en esta rotonda.

Para la realización de este modelo, se han utilizado los siguientes elementos:

- **Vehículos.**
- **Peatones.**
- **Puntos de origen y destino:** Elementos de Anylogic que nos permite configurar lo siguiente:
  - Tamaño de vehículos.
  - Velocidad inicial tanto para vehículos como para peatones.
  - Velocidad preferida tanto para vehículos como para peatones.
  - Puntos de origen y destino tanto para vehículos como para peatones.
  - Tasa por hora de vehículos y peatones.
- **Pasos de peatones.**
- **Entradas y salidas de la rotonda.**
- **Semáforos.**
- **Tramos de carreteras.**
- **Tramos de acera.**
- **Intersecciones.**

También se han tenido en cuenta las siguientes premisas para los elementos descritos:

- Cuando los semáforos estén en su fase roja, los vehículos se detienen y los peatones podrán cruzar.
- Cuando los semáforos estén en su fase verde, los vehículos podrán pasar y los peatones tendrán que esperar para cruzar.
- La prioridad en los pasos de peatones son los peatones, siempre que no exista ningún tipo de semáforo que lo regule, en cuyo caso, la prioridad la marcará el propio semáforo.
- Los vehículos no podrán pasar por encima de ningún peatón.
- Los peatones no podrán salirse de la acera, salvo en los pasos de peatones.
- Los vehículos tienen marcado un destino desde su creación.

### 2.3.2 Fuentes de datos.

Para poder obtener los datos hemos utilizado la herramienta Power BI que nos dejó acceso el Cabildo.

Estos datos que vienen recogidos en esta aplicación son de las estaciones permanentes, pudiendo seleccionar tanto la carretera como el carril que nos interese en un punto. En la figura 4 podemos ver cómo podemos seleccionar hasta el carril de las carreteras de las que tienen datos.



Figura 4: Power BI selección carretera.

Una vez hemos obtenidos los datos, hemos realizado una estimación de los vehículos que entran en la rotonda del Padre Anchieta, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Día de alta afluencia, como es el primer día lectivo de clases del año natural, es decir, el martes 08 de enero de 2019.
- Datos del carril lento de la autopista, ya que es donde están las salidas de la misma.
- Diferencia entre la estación del Padre Anchieta, una estación anterior y la siguiente.

Gracias a esta estimación sabremos el máximo de vehículos que entran al Padre Anchieta desde el norte en una hora punta.

Una vez realizada la estimación de datos, se han obtenido los resultados de la tabla 2:

Carretera	Carril Descendente Lento		
	6:00	7:00	8:00
100 Bomberos La Laguna, Los Rodeos	250	366	447
200 Padre Anchieta	1379	1956	1817
050 Campus Guajara Alcampo	807	1121	992
Posibles vehículos de entrada al Padre Anchieta	572	835	825

Tabla 2: Datos carril descendente lento TF5

Para el carril ascendente, realizaremos lo mismo que en descendente para obtener una estimación a la entrada de vehículos de coches por Santa Cruz a la misma hora. Teniendo en cuenta que al hacer la diferencia, en este caso existe también la salida de San Benito entre el Padre Anchieta y Los Rodeos. Se obtiene la estimación de datos de la tabla 3.

Carretera	Carril Ascendente Lento		
	6:00	7:00	8:00
100 Bomberos La Laguna, Los Rodeos	281	348	706
200 Padre Anchieta	534	1102	1312
050 Campus Guajara Alcampo	596	1317	1497
Posibles vehículos de entrada al Padre Anchieta	253	754	606

Tabla 3: Datos carril ascendente lento TF5

En el resto de las entradas y tránsito de peatones, no tenemos referencias fiables, con lo que se ha decidido introducir un número de vehículos y peatones aproximados por cada entrada. Para la velocidad de los coches se ha utilizado el intervalo que indica la ley de circulación vial [6] y para la velocidad de los peatones nos hemos basado en la Tabla 8 del apéndice 2. Los valores iniciales de los parámetros para los escenarios creados se muestran en la tabla 4.

Parámetro	Valor asignado	unidad de medida
Velocidad inicial TF5	60	km/h
Velocidad preferida TF5	uniform(60,80)	km/h
Velocidad inicial en carretera	40	km/h
Velocidad preferida en carretera	uniform(20,40)	km/h
Velocidad inicial peatones	uniform(0.8, 1.0)	m/s
Velocidad cómoda peatones	uniform(0.8, 1.25)	m/s
Tasa de entrada de coches de la TF5-Norte	500	a la hora
Tasa de entrada de guaguas de la TF5-Norte	10	a la hora
Tasa de entrada de coches por la Facultad	300	a la hora
Tasa de entrada de coches por la Esperanza	100	a la hora
Tasa de entrada de coches por Geneto	100	a la hora
Tasa de entrada de coches de la TF5-SC	200	a la hora
Tasa de entrada de guaguas de la TF5-SC	10	a la hora
Tasa de entrada de coches por la Trinidad	100	a la hora
Tasa de entrada de guaguas por la Trinidad	10	a la hora

Tabla 4: Parámetros iniciales.

### 2.3.3 Implementación.

Para la implementación del modelo de simulación en la herramienta Anylogic, con los elementos y datos descritos anteriormente, hemos utilizado las bibliotecas que se muestran en la figura 5:

 Biblioteca de Modelado de Procesos	→ Permite asignar a los agentes los distintos puertos de salida de los que dispone.
 Material Handling Library	
 Biblioteca de Transeúntes	→ Permite la creación de zonas de paso, líneas objetivo, etc.
 Biblioteca ferroviaria	→ Permite la creación de carreteras, señales de tráfico, etc.
 Biblioteca de tráfico rodado	
 Biblioteca de fluidos	
 Dinámica de Sistemas	
 Agente	→ Permite la creación de vehículos, peatones, variables, eventos, parámetros, etc.
 Presentación	→ Permite la creación del modelo en 3D y de objetos sencillos como líneas, texto, etc.
 Marcado espacial	
 Análisis	→ Permite la creación de las estadísticas, gráficos, etc.
 Controles	→ Permite la creación de diferentes botones de control.
 Diagrama de Estado	
 Conectividad	→ Permite la exportación de los datos a un fichero externo.
 Imagen	
 Objetos 3D	→ Permite la creación de los objetos 3D.

Figura 5: Bibliotecas de Anylogic.

Utilizando las bibliotecas descritas en la figura 2.2, un ejemplo de rotonda de Anylogic y una imagen satélite de la rotonda del Padre Anchieta, hemos creado el escenario base, figura 6, desde el que hemos creado los 4 escenarios utilizados en este TFG que pasamos a explicar como se han implementado.



Figura 6: Escenario base.

### 2.3.3.1 Escenario 1: Sistema actual de la rotonda del Padre Anchieta.

Este escenario será el escenario inicial del que partiremos, ya que es la situación actual de la rotonda del Padre Anchieta sin ninguna señal que regule su tráfico. A partir de los resultados obtenidos de este escenario podremos compararlos con el resto de escenarios para ver cual o cuales de ellos mejora la intensidad.

A continuación, en las figuras 7 y 8, explicamos los pasos que hemos seguido para la creación de este escenario:

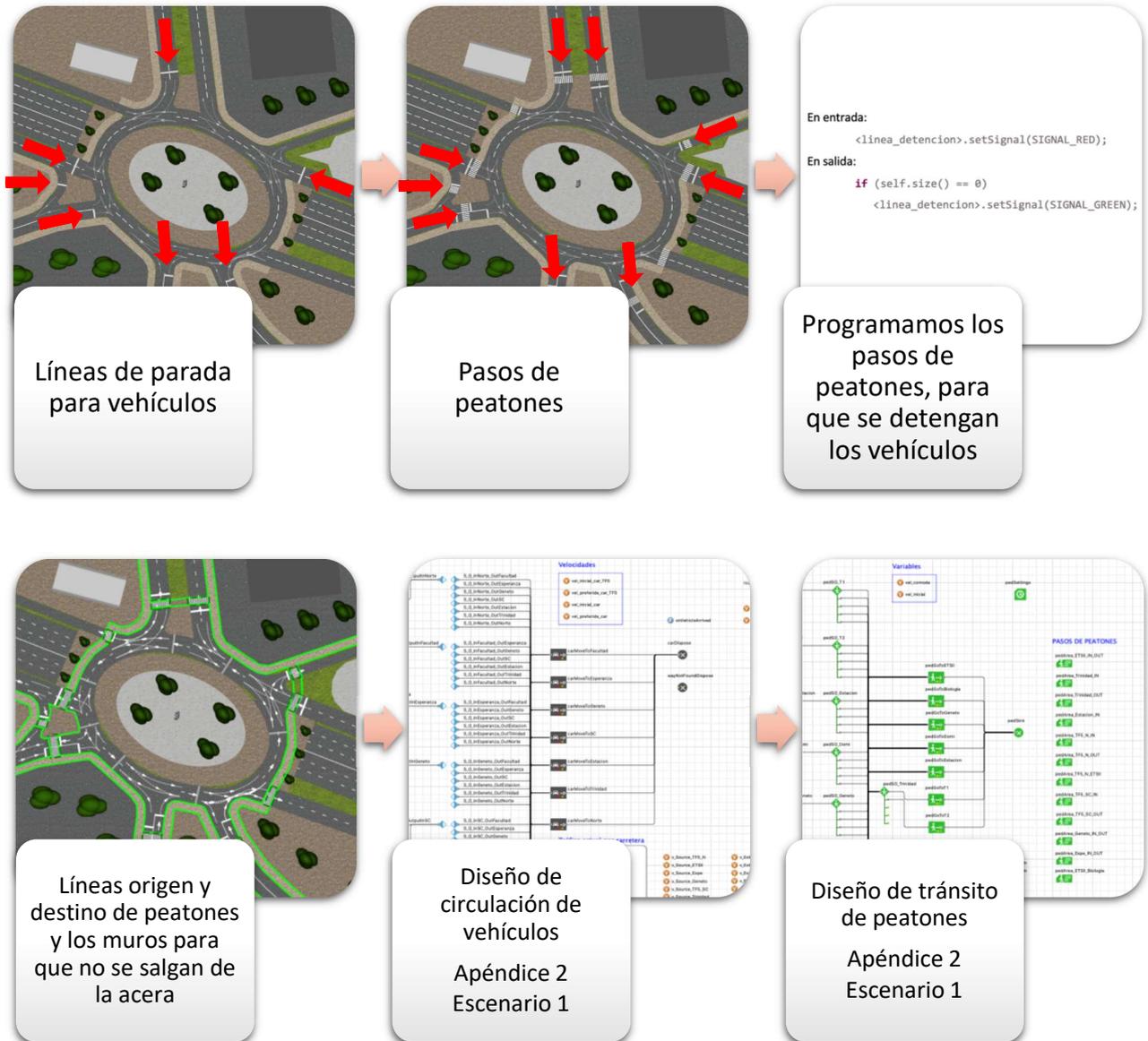


Figura 7: Escenario 1 – Sistema actual de la rotonda del Padre Anchieta.

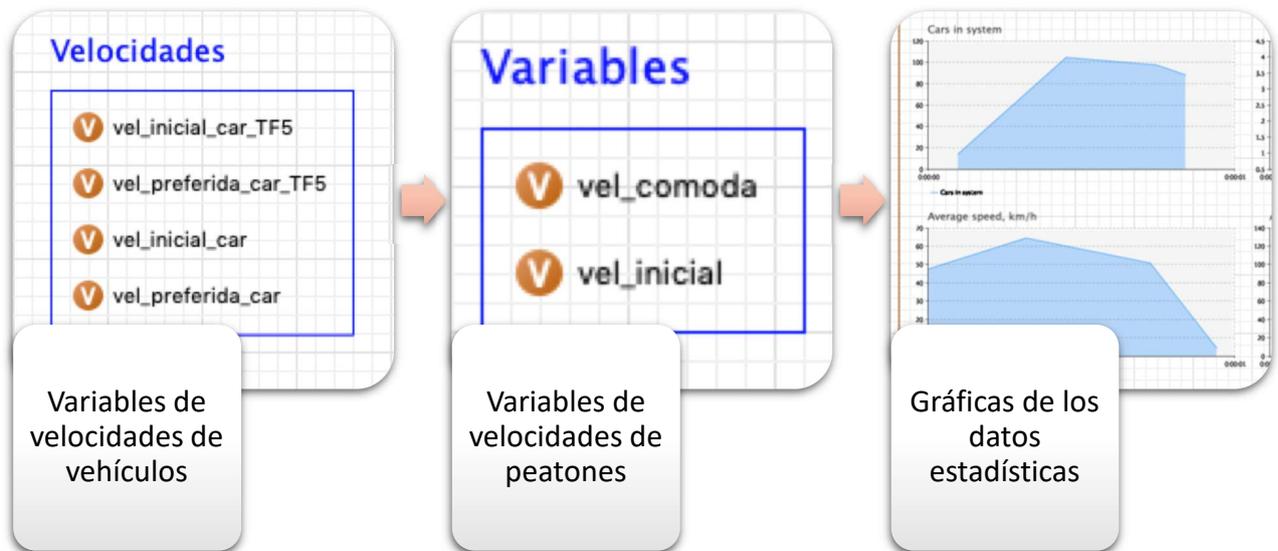


Figura 8: Escenario 1 – Sistema actual de la rotonda del Padre Anchieta.

### 2.3.3.2 Escenario 2: Sistema sin peatones.

Justo a principios del curso escolar, se empezó a barajar la posibilidad de crear una pasarela en la rotonda del Padre Anchieta, con lo que no quisimos desaprovechar la oportunidad de analizar el impacto que va a suponer este escenario y compararlo con los datos obtenidos de la inclusión de semáforos inteligentes.

Para la creación de este escenario, hemos partido del escenario 1, y sólo hemos tenido que desactivar el diseño lógico de tránsito de los peatones, para que de esta manera al ejecutar el proyecto ya no se generen peatones.

### 2.3.3.3 Escenario 3: Sistema con pulsadores.

En este escenario, hemos querido simular cómo sería la inclusión de pulsadores, de manera que al llegar un peatón a un paso de peatones y presionar el pulsador, el peatón tendrá que esperar a que cambie el semáforo de fase y así poder cruzar. Con este escenario, le estaremos dando prioridad a los peatones, comprobando más adelante el impacto que puede tener con respecto a los otros escenarios posibles.

Para la creación de este escenario, hemos partido del escenario 1, teniendo que utilizar:

- **Líneas objetivo** en los pasos de peatones: Para indicar a los peatones el lugar donde tienen que esperar.
- **Semáforos:** Sin inteligencia, pero configurándolos para que los peatones y vehículos no se salten el semáforo.
- Objeto **“Ped Wait”** de Anylogic: Para simular los pulsadores de los semáforos para los peatones.
- **Modificación del diseño de tránsito de peatones:** Necesario para adaptarlo al sistema con pulsadores, ya que al pulsarlos los peatones van a tener que esperar 15 segundos.

A continuación, describimos como se ha realizado este escenario con el siguiente esquema de las figuras 9:

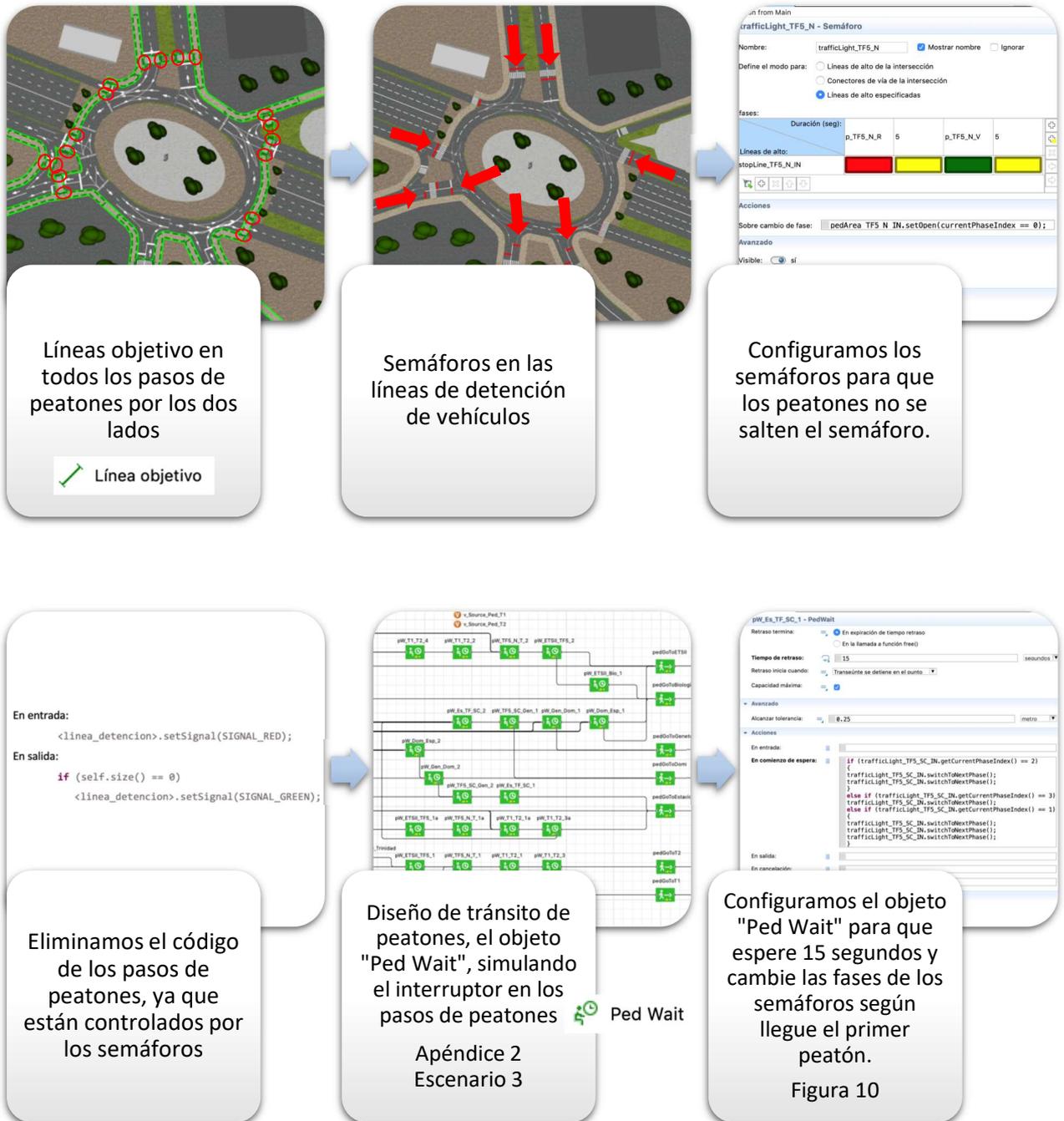


Figura 9: Escenario 3 – Sistema con pulsadores.

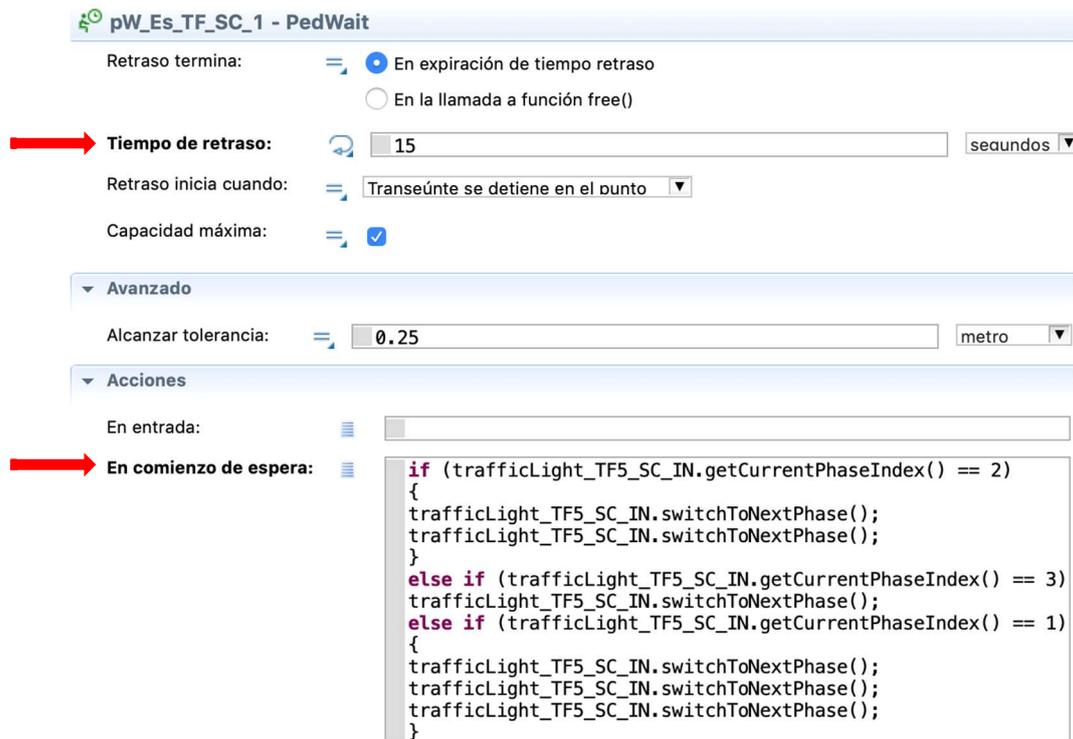


Figura 10: Escenario 3 - Configuración “Ped Wait”

#### 2.3.3.4 Escenario 4: Sistema con semáforos inteligentes.

Por último, vamos a generar el escenario por el cual es el propósito de este TFG, y observaremos si al compararlo con los escenarios anteriores, mejora las estadísticas de cada uno.

Para la creación de este escenario, hemos partido del escenario 3, teniendo que a utilizar:

- **Diseño** de tránsito del escenario 1.
- **Líneas objetivo:** Se han creado dentro de la rotonda para tener el flujo de vehículos a tiempo real por secciones.
- **Parámetros** en los semáforos: De esta manera conseguimos cambiar los tiempos de las fases a tiempo real.
- Objeto **Evento** de Anylogic: Con este objeto vamos a controlar el flujo dentro de la rotonda y con una recurrencia de 15 segundos, vamos activando los semáforos necesarios a través de un algoritmo.

A continuación, pasamos a describir cómo se ha realizado con el siguiente esquema de las figuras 11 y 12:

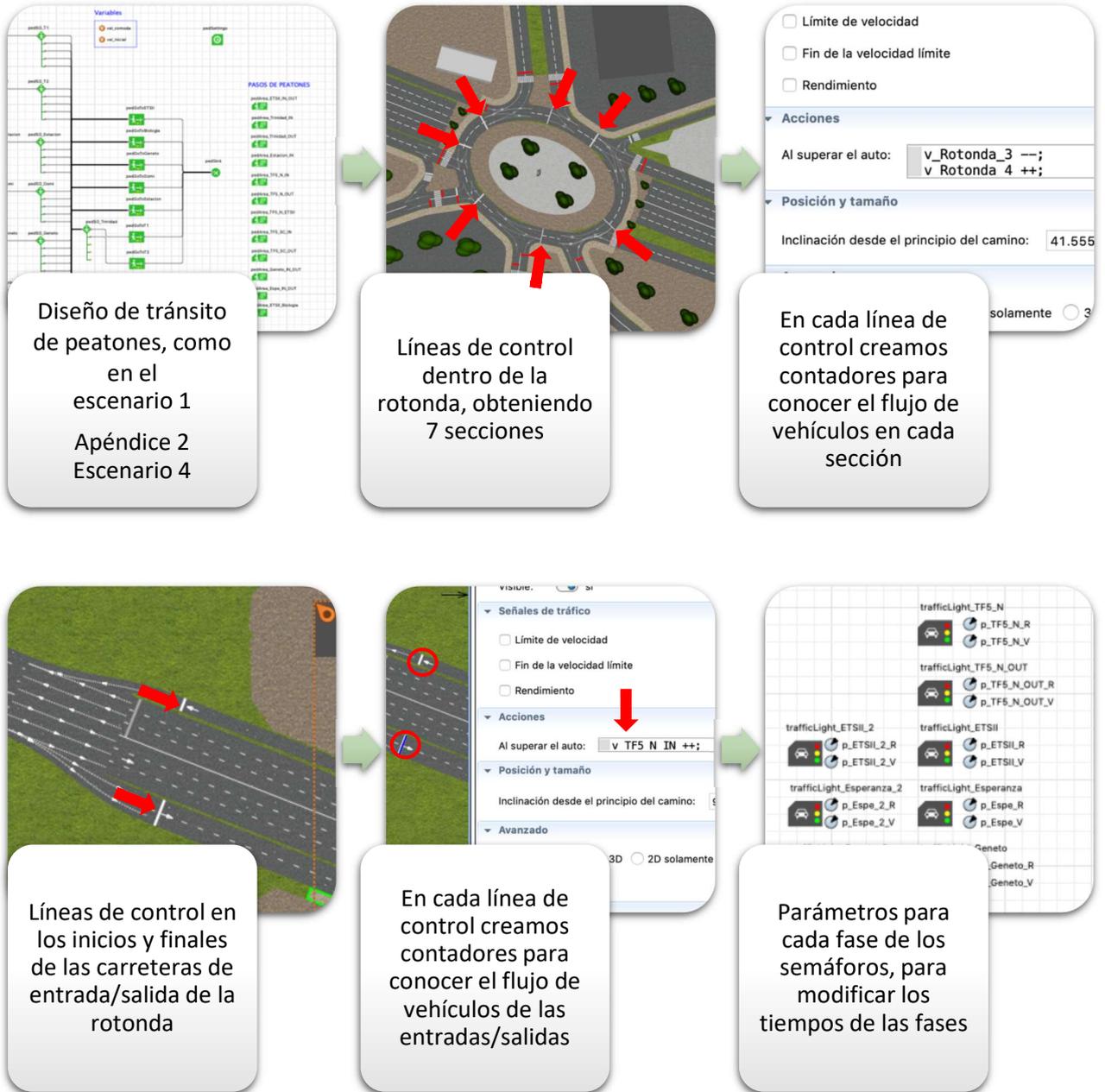


Figura 11: Escenario 4 – Sistema con semáforos inteligentes

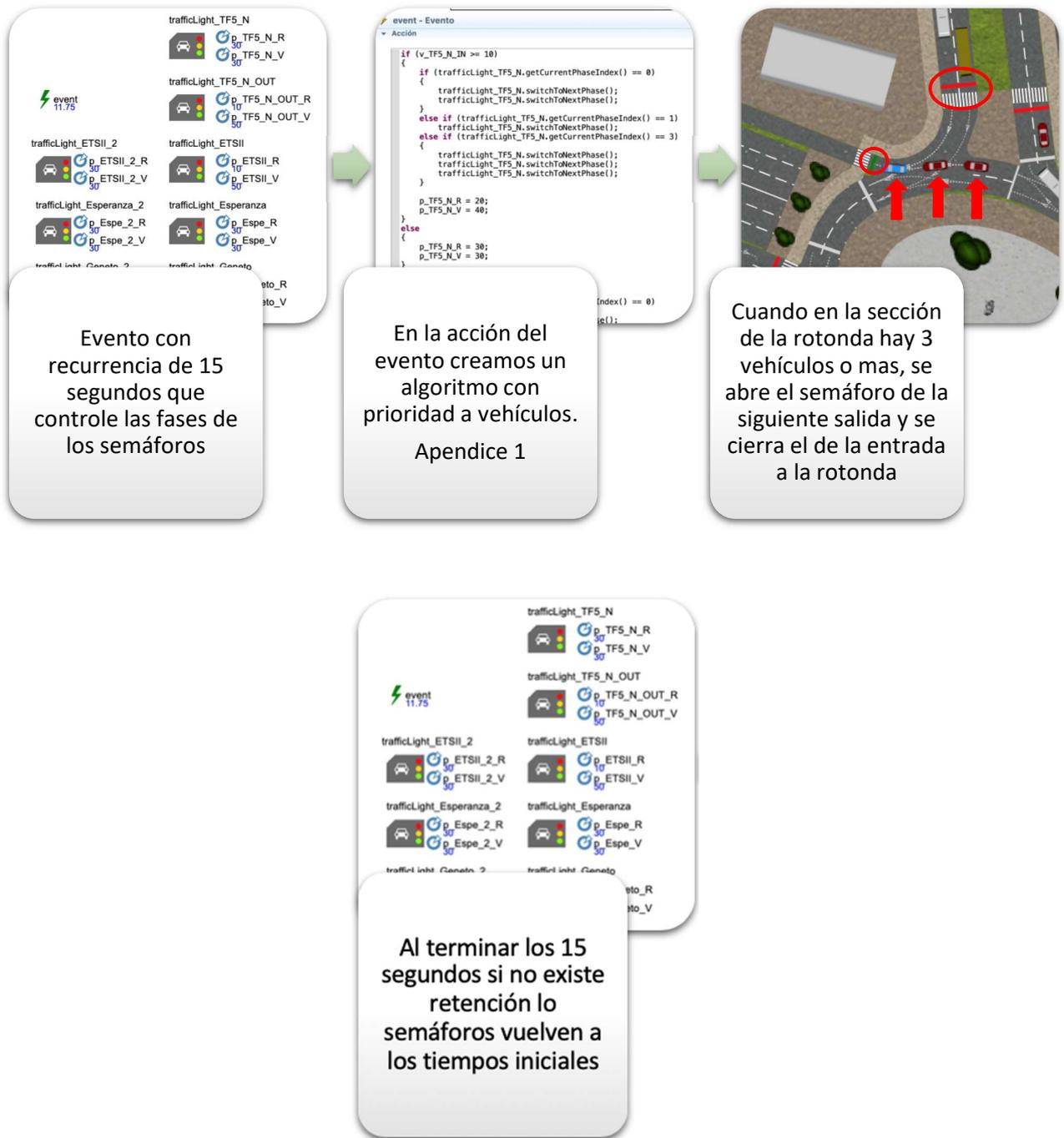


Figura 12: Escenario 4 – Sistema con semáforos inteligentes

### 2.3.4 Diseños lógicos de circulación de vehículos y tránsito de peatones.

Anylogic nos permite crear diseños de circulación con tomas de decisión independiente por cada carril, pudiendo asignar un porcentaje de salida según la dirección a la que se dirija cada vehículo o peatón. Los diferentes diseños creados para cada escenario se pueden ver en los apéndices del capítulo 7.

Para la creación de los diseños lógicos de circulación/tránsito y dependiendo del tipo de agente, se han seguido los siguientes esquemas de acciones a realizar:

#### 2.3.4.1 Vehículos.

Para realizar este diseño se ha seguido el esquema de acciones a realizar de la figura 13, dependiendo del escenario creado.

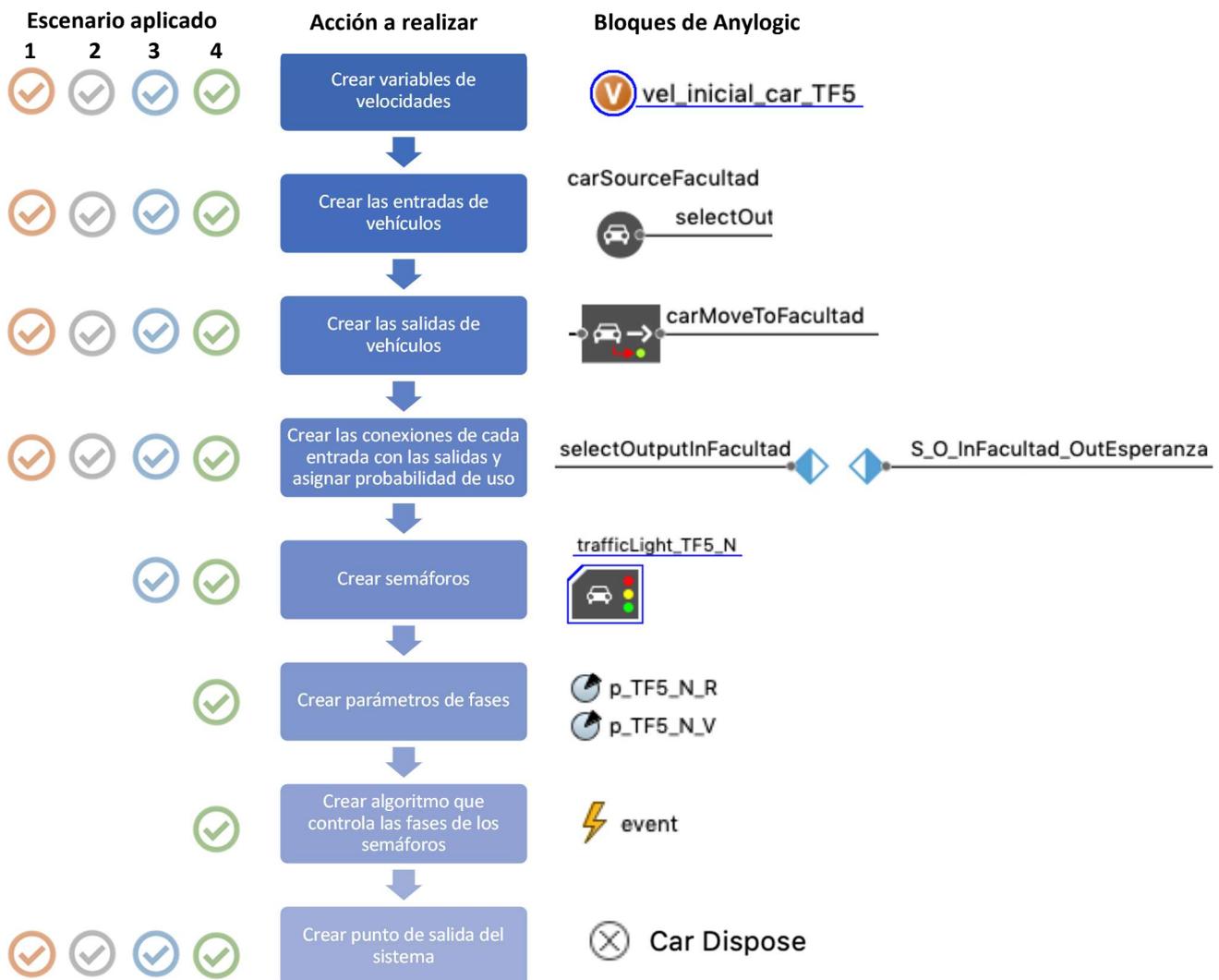


Figura 13: Esquema de creación del diseño lógico de circulación de vehículos

El diagrama anterior es el que hemos seguido en la elaboración de los diseños de circulación de vehículos. Hemos indicado la acción realizada dependiendo del escenario al que le corresponde.

### 2.3.4.2 Peatones.

Para realizar este diseño se ha seguido el esquema de acciones a realizar de la figura 14, dependiendo del escenario creado.

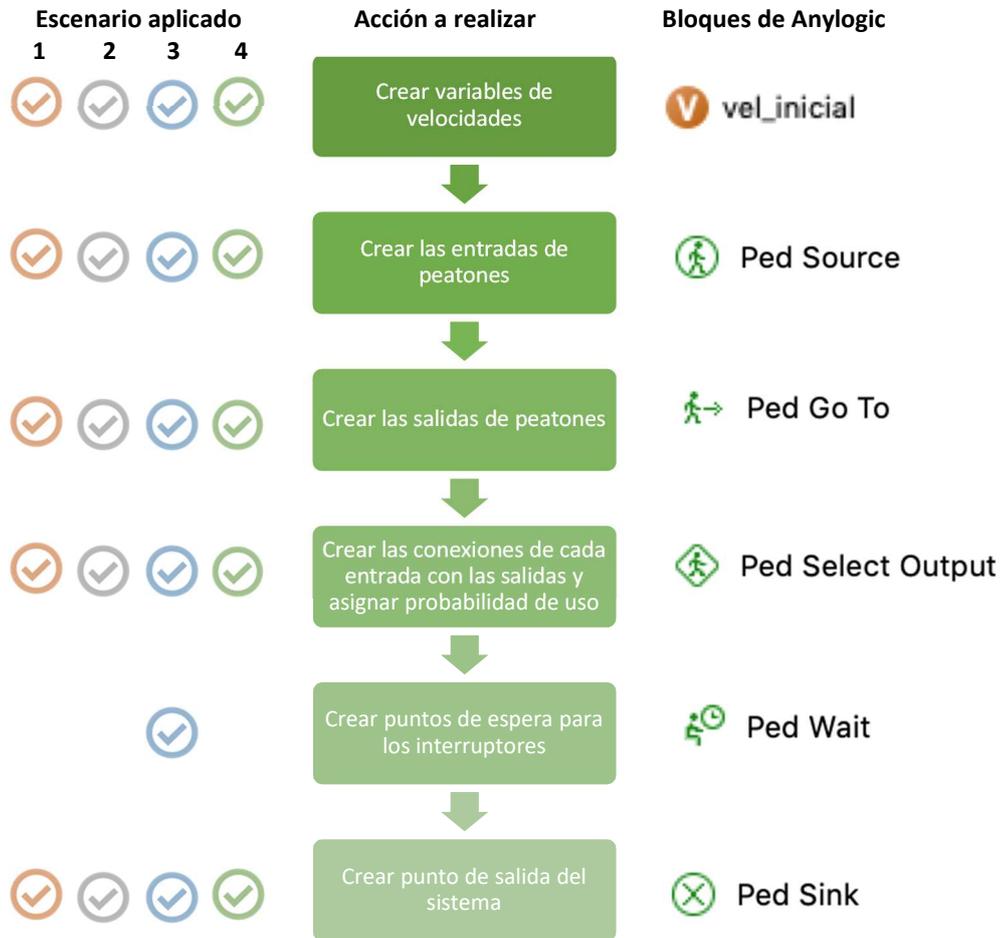


Figura 14: Esquema de creación del diseño lógico de circulación de peatones

### 2.3.5 Ejecución de los experimentos.

Para la ejecución de los experimentos ha sido necesario realizar configuraciones adicionales de la herramienta de simulación que permitan obtener los resultados de forma correcta.

- **Calentamiento de la simulación:** Es necesario un calentamiento de la simulación, para que cuando se empiecen a recoger los datos, exista un número de vehículos y peatones en el sistema. Para realizar esto se ha creado una variable denominada "v\_WarmupDuration" donde indicamos un tiempo de 10 minutos que es lo que hay que esperar para que se caliente el sistema.
- **Flujo de los vehículos:** Se consigue a través de líneas de detención que colocamos tanto dentro de la rotonda como al principio y final de cada entrada a la rotonda. A éstas, les añadimos un contador que al superar el vehículo se aumenta o reduce, y lo almacenamos en una variable para conseguir el dato a tiempo real. Este dato es esencial para el algoritmo que controle las fases de los semáforos y así poder tomar las decisiones a tiempo real.

- **Flujo en las entradas del sistema:** En algunas entradas no sólo entran coches sino también guaguas. Por este motivo se ha optado por colocar un contador en el objeto "Select Output In" , que se utiliza para las entradas del diagrama donde se guían a los coches de esa entrada por las diferentes salidas de la rotonda. Se almacena este dato en las correspondientes variables con una misma nomenclatura "v\_Source\_xxx" donde xxx es el nombre de la carretera.
- **Flujo en las salidas del sistema:** Este parámetro lo obtenemos a través de un contador puesto en las salidas de la rotonda y almacenado en las variables con nomenclatura "v\_Exit\_xxx" donde xxx es el nombre de la carretera.
- **Total de coches que pasan por el sistema:** Obtenemos este parámetro a través del objeto de la biblioteca de carreteras, "Road Network Descriptor" , en el que añadimos un contador en la entrada a la red de cada vehículo que se almacena en la variable, "CochesTotales".
- **Total de coches que salen del sistema:** En el objeto del punto de salida de las carreteras, añadimos un contador para que cuando un vehículo salga del sistema, se almacene en la variable "CochesExitSystem". Con este parámetro sabremos la cantidad de vehículos que es capaz el sistema de sacar y por lo tanto el flujo que soporta.

Hemos realizado simulaciones offline, en las cuales se han mandado los datos a un archivo Excel. Para esto hemos tenido que hacer lo siguiente,

1. En el main del proyecto
  - a. En acciones del agente ponemos en la opción "Al destruir",  
`this.writeOutput();`
  - b. Se crea un archivo excel con los campos que queremos en una hoja y en la otra hoja el índice de iteraciones, empezando por el número 2, que es la fila donde pondremos nuestros primeros valores.
  - c. Añadimos un archivo de excel de la librería de conectividad y lo enlazamos al archivo que creamos con anterioridad
  - d. Creamos una función con el nombre **writeOutput** y en el "Cuerpo de la función" ponemos lo siguiente:

```
int v = (int) excelOutputFile.getCellNumericValue("iteracion", 1, 1);

excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_TF5_N, "Datos", v, 2);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_ETSII, "Datos", v, 3);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Espe, "Datos", v, 4);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Geneto, "Datos", v, 5);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_TF5_SC, "Datos", v, 6);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Trinidad, "Datos", v, 7);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_TF5_N, "Datos", v, 8);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_Facultad, "Datos", v, 9);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_Espe, "Datos", v, 10);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_Geneto, "Datos", v, 11);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_TF5_SC, "Datos", v, 12);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_Trinidad, "Datos", v, 13);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Exit_Estacion, "Datos", v, 14);
excelOutputFile.setCellValue(this.CochesTotales, "Datos", v, 15);
excelOutputFile.setCellValue(this.CochesExitSystem, "Datos", v, 16);
```

```

excelOutputFile.setCellValue(this.roadNetworkDescriptor.size(), "Datos", v,
17);
excelOutputFile.setCellValue(this.speedDS.getYMean(), "Datos", v, 18);
excelOutputFile.setCellValue(this.timeInSystemDS.getYMean(), "Datos", v, 19);
excelOutputFile.setCellValue(this.carStopsDS.getYMean(), "Datos", v, 20);

// Estadísticas Peatones
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_ETSII, "Datos", v, 21);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_Biologia, "Datos", v, 22);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_Geneto, "Datos", v, 23);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_Domi, "Datos", v, 24);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_Estacion, "Datos", v, 25);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_T1, "Datos", v, 26);
excelOutputFile.setCellValue(this.v_Source_Ped_T2, "Datos", v, 27);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToETSII.size(), "Datos", v, 28);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToBiologia.size(), "Datos", v, 29);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToGeneto.size(), "Datos", v, 30);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToDomi.size(), "Datos", v, 31);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToEstacion.size(), "Datos", v, 32);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToT1.size(), "Datos", v, 33);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedGoToT2.size(), "Datos", v, 34);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedTotalSystem, "Datos", v, 35);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedExistSystem, "Datos", v, 36);
excelOutputFile.setCellValue(this.pedSettings.countPeds(), "Datos", v, 37);
v ++;
excelOutputFile.setCellValue(v, "iteracion", 1, 1);

```

2. Creamos un nuevo Experimento y seleccionamos que sea de "Variación de Parámetros"
  - a. *Parametros*,
    - i. De forma libre y ponemos el número de iteraciones que queremos.
  - b. *Tiempo de modelo*
    - i. Tiempo de finalización a 3599
    - ii. Fecha de inicio a 1 de junio de 2019
  - c. Aleatorio
    - i. Se selecciona la opción de valor de semilla aleatorio

### 2.3.6 Validación.

Debido, a que no tenemos los datos exactos de intensidad media diaria de vehículos de todas las entradas de la rotonda, ni tampoco el tránsito exacto de peatones, hemos utilizado una validación aparente, "face validity", para saber la viabilidad de este TFG en la rotonda del Padre Anchieta. [7]. Para ello, hemos planteado diferentes escenarios tipo y hemos corroborado que los resultados se correspondan con los esperados.

# Capítulo 3 Resultados

## 3.1 Simulaciones.

Se han realizado un total de 5000 iteraciones por simulación, teniendo en cuenta que, si el sistema no puede introducir más vehículos de los indicados en la tasa de llegada de los vehículos, indicada en la tabla 2.3, no los creará, y si llega a la tasa y puede meter más vehículos los generará.

En los puntos siguientes se muestran los resultados y conclusiones de las tablas y gráficos obtenidos de los diferentes escenarios.

## 3.2 Resultados por escenario

### 3.2.1 Escenario 1: Sistema Actual de la rotonda del Padre Anchieta

Los resultados para los vehículos de este escenario, los podemos ver en las tablas 9 y 10 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 1 es capaz de generar una media de 591 vehículos en 50 minutos
- El escenario 1 es capaz de sacar del sistema el 58,3% de vehículos de los que es capaz de generar.

En el histograma de la figura 15, referente a los vehículos que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 1 es que es capaz de sacar del sistema entre 84 y 142 vehículos.
- Si bien existen picos de más de 1000 vehículos, se puede observar cómo según aumentan el número de vehículos también se reduce el que consigue salir del sistema, teniendo un mayor número de bloqueos en la rotonda, llegando incluso a colapsarse la rotonda en algunos casos en los que el número de vehículos que sales es mínimo.

En el histograma de la figura 16, referente al promedio en segundos en el que han estado en el sistema los vehículos que han conseguido salir, podemos observar que:

- Existe un pico de media de unos 66 segundos.

En este escenario, al no existir ningún tipo de señal de tráfico que controle los accesos a la rotonda a los vehículos, se produce que cuando un vehículo llega a la entrada de la rotonda, éste quiere entrar en ella lo más rápido posible, provocando que los vehículos de dentro de la rotonda tengan que disminuir su velocidad y así se produce un efecto en cadena que puede llegar incluso a bloquear la rotonda. También en este escenario existen pasos de peatones, en los que el vehículo se tiene que detener dentro de la rotonda para dejar pasar a los peatones, produciendo este caso un bloqueo en ese punto, un ejemplo es el paso de peatones de la salida de la rotonda hacia el norte.

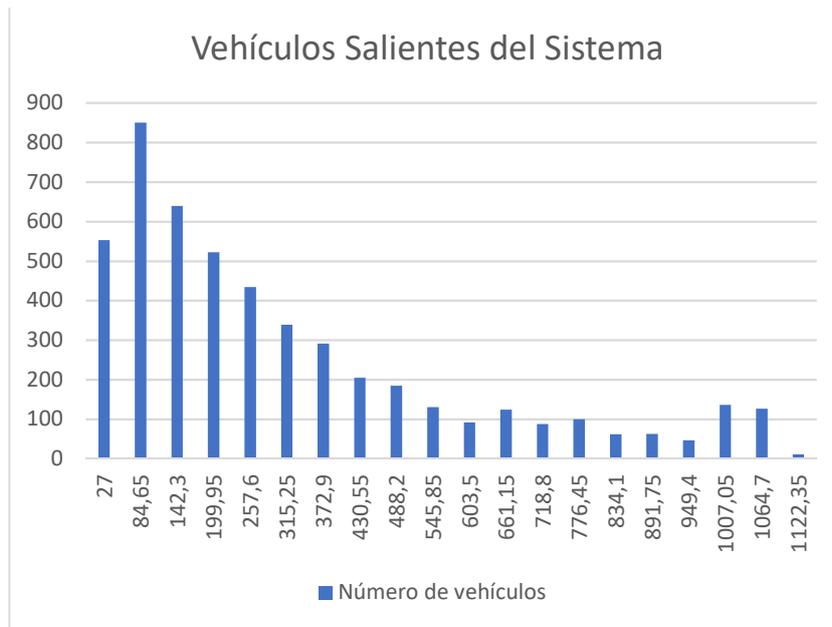


Figura 15: Escenario 1 – Histograma de los vehículos salientes del sistema.

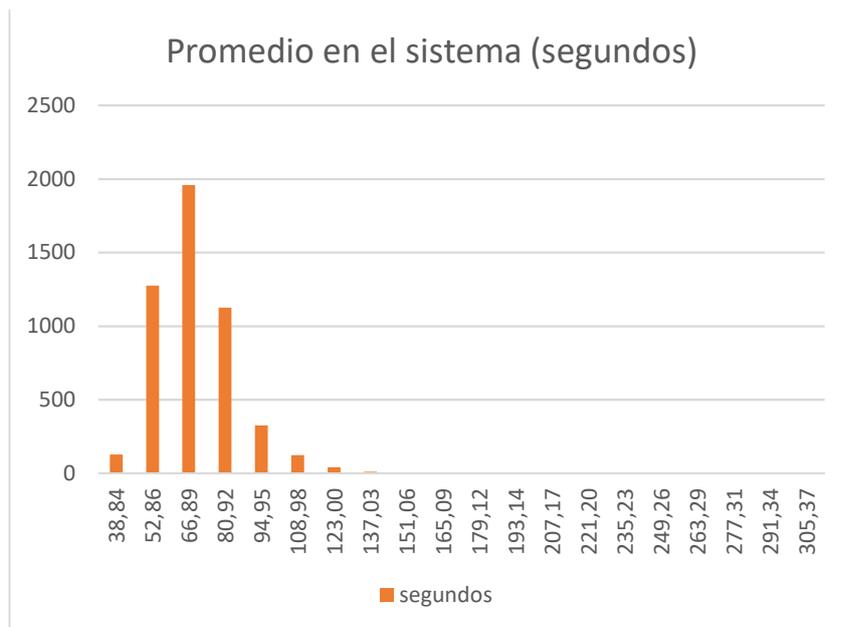


Figura 16: Escenario 1 – Histograma promedio de vehículos en el sistema.

Los resultados para los peatones de este escenario, los podemos ver en las tablas 11 y 12 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 1 es capaz de generar una media de 750 peatones en 50 minutos.
- El escenario 1 es capaz de sacar del sistema el 99.9% de peatones de los que es capaz de generar.

En el histograma de la figura 17, referente a los peatones que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 1 es que es capaz de sacar del sistema entre 727 y 760 peatones.

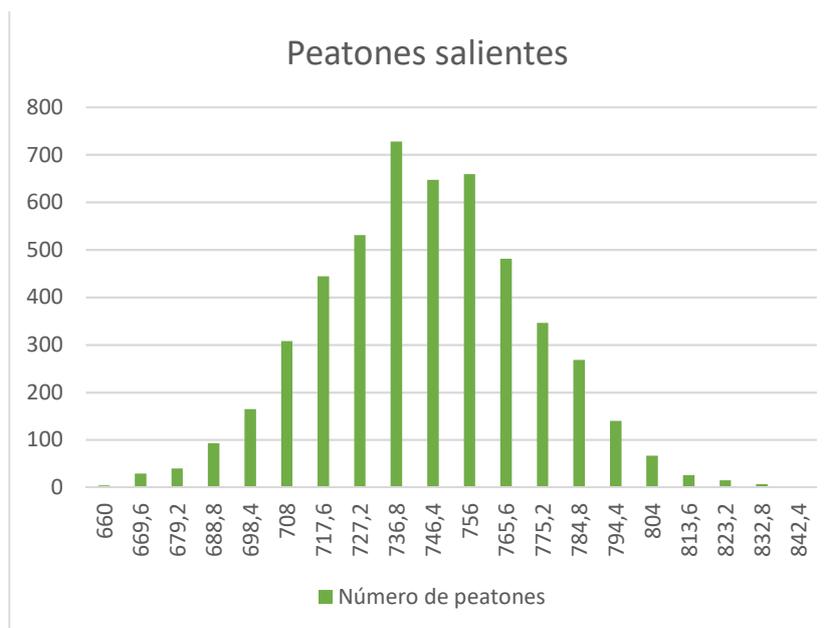


Figura 17: Escenario 1 – Histograma de peatones salientes del sistema.

### 3.2.2 Escenario 2: Sistema sin peatones.

Los resultados para los vehículos de este escenario, los podemos ver en las tablas 13 y 14 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 2 es capaz de generar una media de 850 vehículos en 50 minutos; es decir, un 44,52% de mejora con respecto al escenario 1.
- El escenario 2 es capaz de sacar del sistema el 83,29% de vehículos de los que es capaz de generar.

En el histograma de la figura 18, referente a los vehículos que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 2 es que es capaz de sacar del sistema entre 1000 y 1067 vehículos.

En el histograma de la figura 19, referente al promedio en segundos en el que han estado en el sistema los vehículos que han conseguido salir, podemos observar que:

- Existe una moda de unos 54 segundos de media; es decir, unos 12 segundos menos que el escenario 1.

En este escenario, al eliminar los peatones se ha conseguido obtener una moda muy alta, pero sin embargo su media no es tan alta, esto se debe a que siguen sin existir ningún tipo de señal de tráfico que controle los accesos a la rotonda a los vehículos, provocándose el mismo efecto que en el escenario 1 con los vehículos.

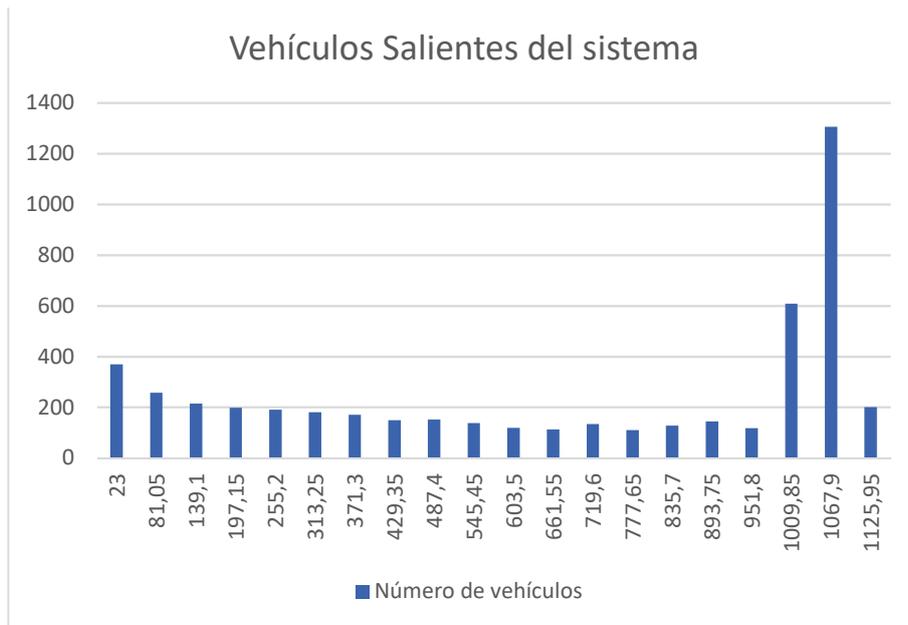


Figura 18: Escenario 2 – Histograma de los vehículos salientes del sistema.

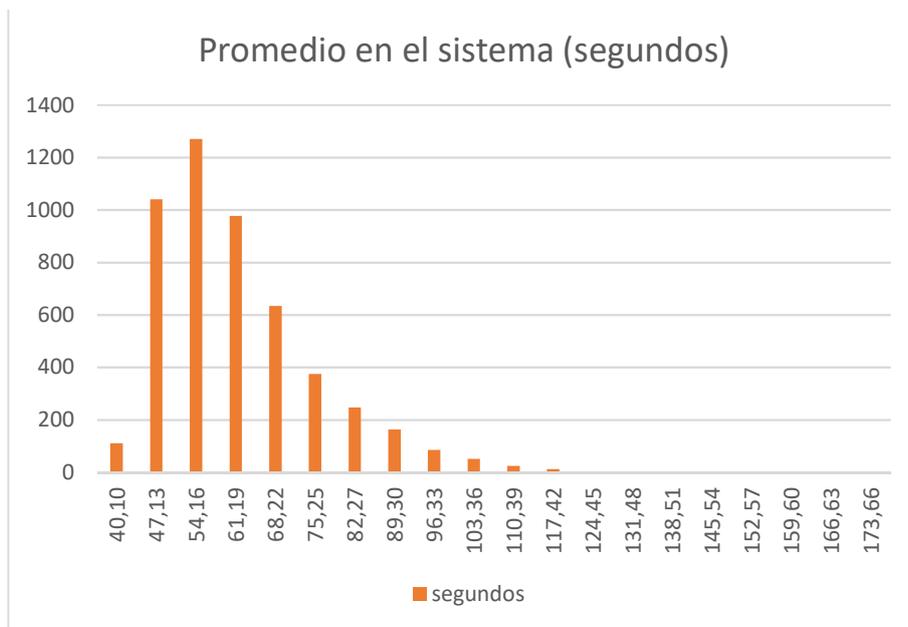


Figura 19: Escenario 2 – Histograma promedio de vehículos en el sistema.

### 3.2.3 Escenario 3: Sistema con pulsadores.

Los resultados para los vehículos de este escenario, los podemos ver en las tablas 15 y 16 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 3 es capaz de generar una media de 348 vehículos en 50 minutos; es decir, un 41,10% de pérdida con respecto al escenario 1.
- El escenario 3 es capaz de sacar del sistema el 28% de vehículos de los que es capaz de generar.

En el histograma de la figura 20, referente a los vehículos que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 3 es que es capaz de sacar del sistema entre 44 y 100 vehículos.

En el histograma de la figura 21, referente al promedio en segundos en el que han estado en el sistema los vehículos que han conseguido salir, podemos observar que:

- Existe una moda de unos 108 segundos de media; es decir, unos 42 segundos más que el escenario 1.

En este escenario, se observa que la moda es más baja con respecto al escenario 1, esto se debe a que al introducir los semáforos y los pulsadores para los peatones, provoca que los semáforos no terminen sus fases como las tienen obteniendo un menor número de vehículos que pueden entrar en la rotonda en el mismo tiempo que los demás escenarios.

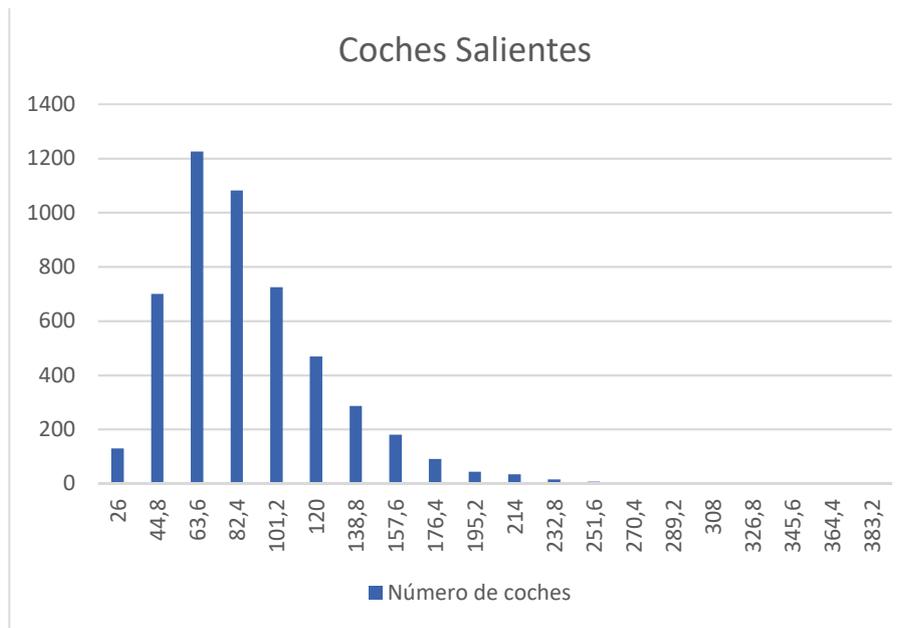


Figura 20: Escenario 3 – Histograma de vehículos salientes del sistema.



Figura 21: Escenario 3 – Histograma promedio de vehículos en el sistema.

Los resultados para los peatones de este escenario, los podemos ver en las tablas 17 y 18 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 3 es capaz de generar una media de 749 peatones en 50 minutos.
- El escenario 3 es capaz de sacar del sistema el 66,8% de peatones de los que es capaz de generar.

En histograma de la figura 22, referente a los peatones que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 3 es que es capaz de sacar del sistema entre 432 y 450 peatones.

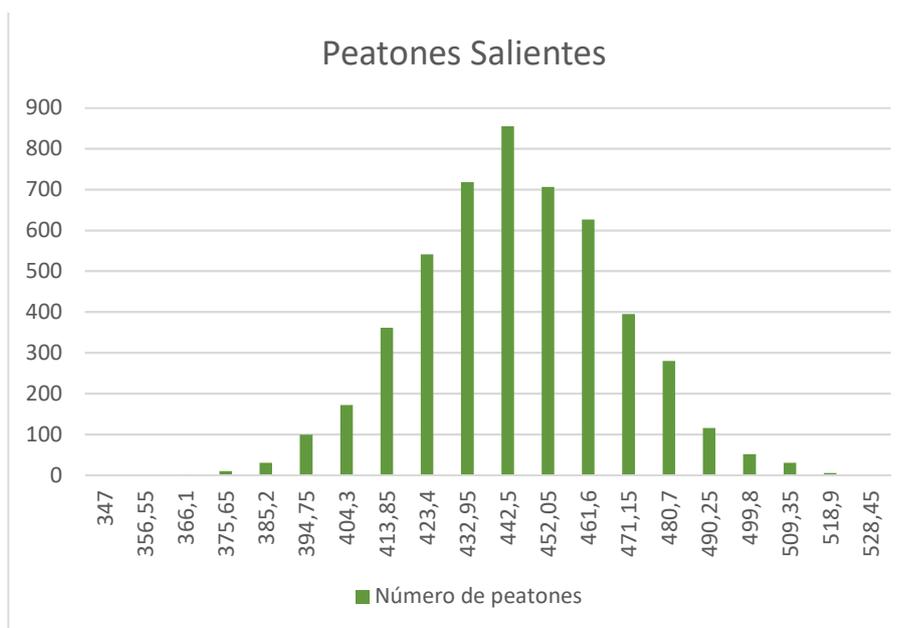


Figura 22: Escenario 3 – Gráfica peatones salientes del sistema.

### 3.2.4 Escenario 4: Sistema con semáforos inteligentes.

Los resultados para los vehículos de este escenario, los podemos ver en las tablas 19 y 20 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 4 es capaz de generar una media de 982 vehículos en 50 minutos; es decir, un 67,12% de mejora con respecto al escenario 1.
- El escenario 4 es capaz de sacar del sistema el 99,53% de vehículos de los que es capaz de generar.

En el histograma de la figura 23, referente a los vehículos que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 4 es que es capaz de sacar del sistema entre 950 y 1000 vehículos.

En el histograma de la figura 24, referente al promedio en segundos en el que han estado en el sistema los vehículos que han conseguido salir, podemos observar que:

- Existe una moda de unos 128 segundos de media; es decir, unos 22 segundos menos en el sistema que el valor más lento estabilizado del escenario 1.

En este escenario, observamos no solo una moda de unos 980 vehículos, sino que se obtiene la media más alta de todos los escenarios, esto es debido a que ahora los semáforos no tienen un tiempo fijo en sus fases, si no que estos tiempos dependen del tráfico que existe dentro de la rotonda, y consiguiendo reducir el número de bloqueos o colapsos totales dentro de la rotonda.

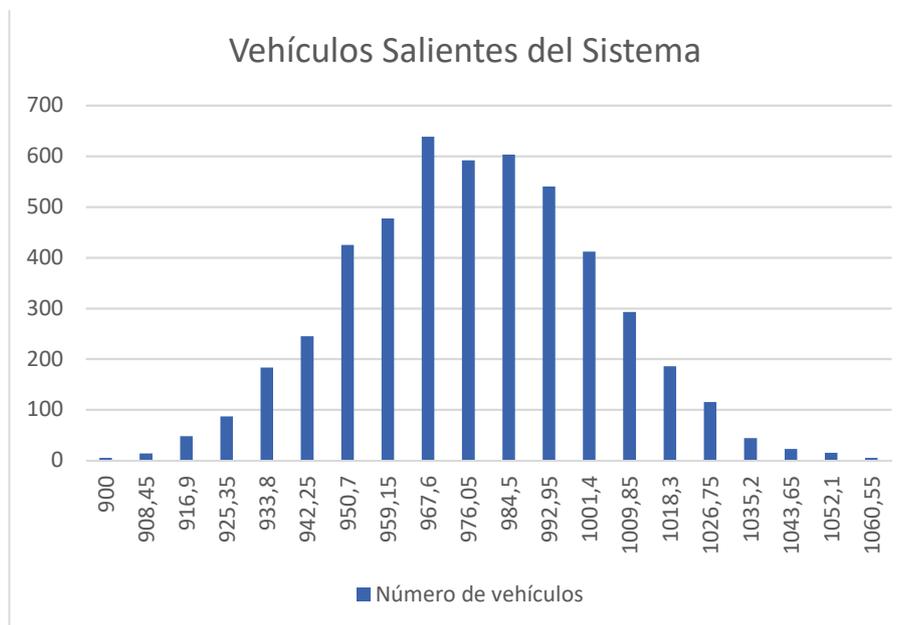


Figura 23: Escenario 4 – Histograma de vehículos salientes del sistema.

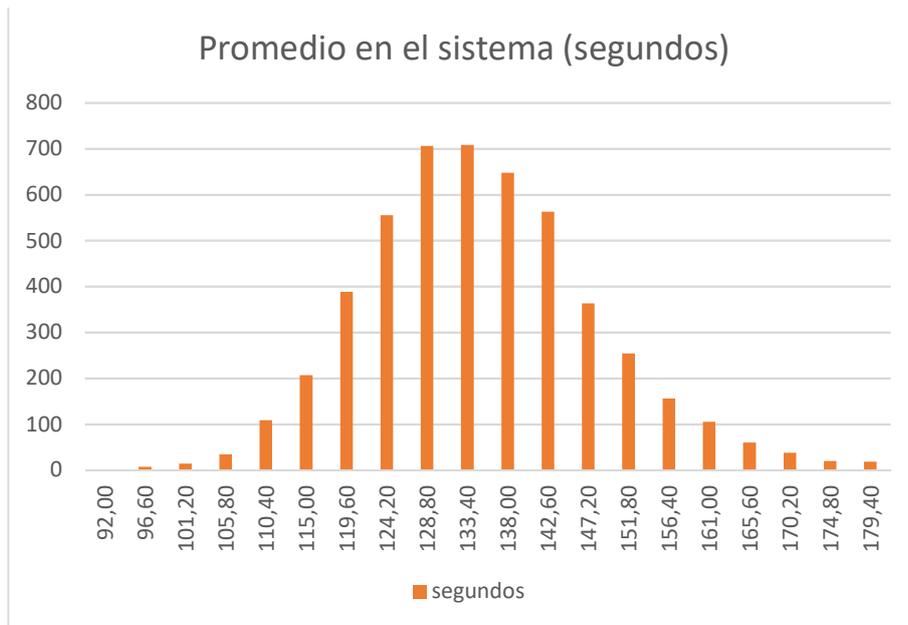


Figura 24: Escenario 4 – Gráfica promedio de vehículos en el sistema.

Los resultados para los peatones de este escenario, los podemos ver en las tablas 21 y 22 del apéndice 3, se puede observar que:

- El escenario 4 es capaz de generar una media de 750 peatones en 50 minutos.
- El escenario 4 es capaz de sacar del sistema el 99.9% de peatones de los que es capaz de generar.

En el histograma de la figura 25, referente a los peatones que el sistema es capaz de llevar a su destino y por lo tanto sale del sistema, podemos observar que:

- La moda del escenario 4 es que es capaz de sacar del sistema entre 730 y 760 peatones.

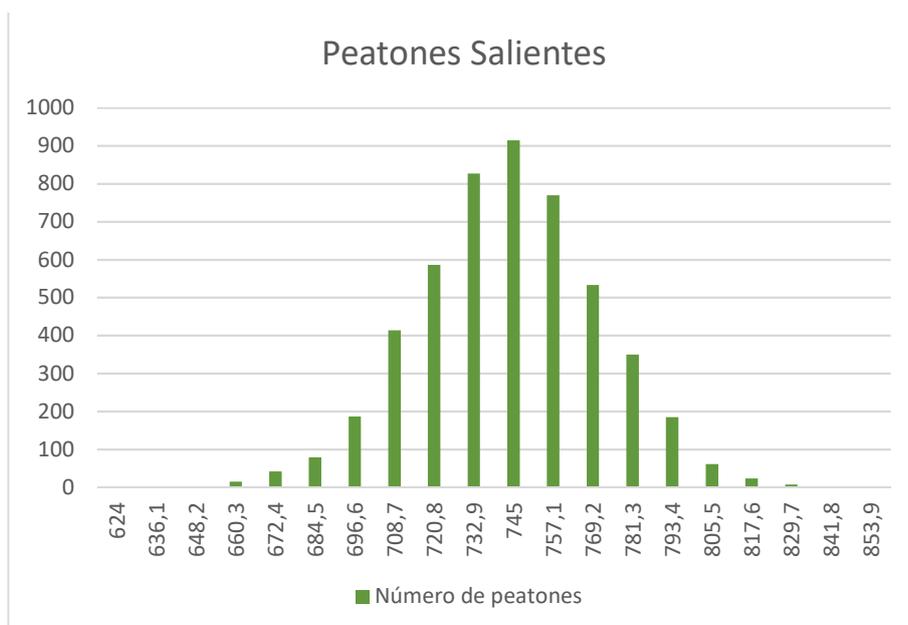


Figura 25: Escenario 4 – Gráfica peatones salientes del sistema.

### 3.3 Resultados totales por escenario.

Tras analizar y juntar los datos totales de todos los modelos obtenemos las tablas 5 y 6, en la que observamos lo siguiente:

- La mejor media de vehículos creados por el sistema es el escenario 4, que corresponde a los semáforos inteligentes.
- La mejor media de vehículos que llegan a su destino y salen del sistema es el escenario 4, que corresponde a los semáforos inteligentes.
- La mejor media del promedio de vehículos en el sistema es del escenario 2, que corresponde al sistema con plataforma para peatones.
- Sobre los peatones que el sistema es capaz de sacar cabe destacar, que el escenario 1 y el escenario 2 tienen un porcentaje muy parecido y son los que tienen mejor media.

	Escenario 1		Escenario 2		
	Media	IC	Media	IC	% mejora Escenario1
Vehículos Creados	590,86	(306;1085,975)	849,59	(303;1138)	43,79
Vehículos Salientes	344,50	(53;1067)	707,61	(52;1133)	105,40
Vehículos Promedio en el sistema	76,50	(52,65;114,20)	64,93	(47,34;100,90)	-15,13
Peatones Salientes	749,05	(695;803)	----	----	----

Tabla 5: Resultados totales escenario 1 y escenario 2.

	Escenario 3			Escenario 4		
	Media	IC	% mejora Escenario1	Media	IC	% mejora Escenario1
Vehículos Creados	347,97	(276;446)	-41,11	982,48	(929;1036)	66,28
Vehículos Salientes	97,53	(44;192,98)	-71,69	977,84	(927;1031)	183,84
Vehículos Promedio en el sistema	145,46	(78,25;268,24)	90,14	137,53	(113,10;169,06)	79,78
Peatones Salientes	449,31	(403;496)	-40,02	749,45	(695;803)	0,05

Tabla 6: Resultados totales escenario 3 y escenario 4.

En la gráfica comparativa de los vehículos que salen del sistema de la figura 26, podemos observar como al juntar las clases de todos los resultados, el escenario 4 tiene un pico en la clase que corresponde a una media de 951 vehículos salientes que se repite en 3649 casos de las 5000 simulaciones realizadas.

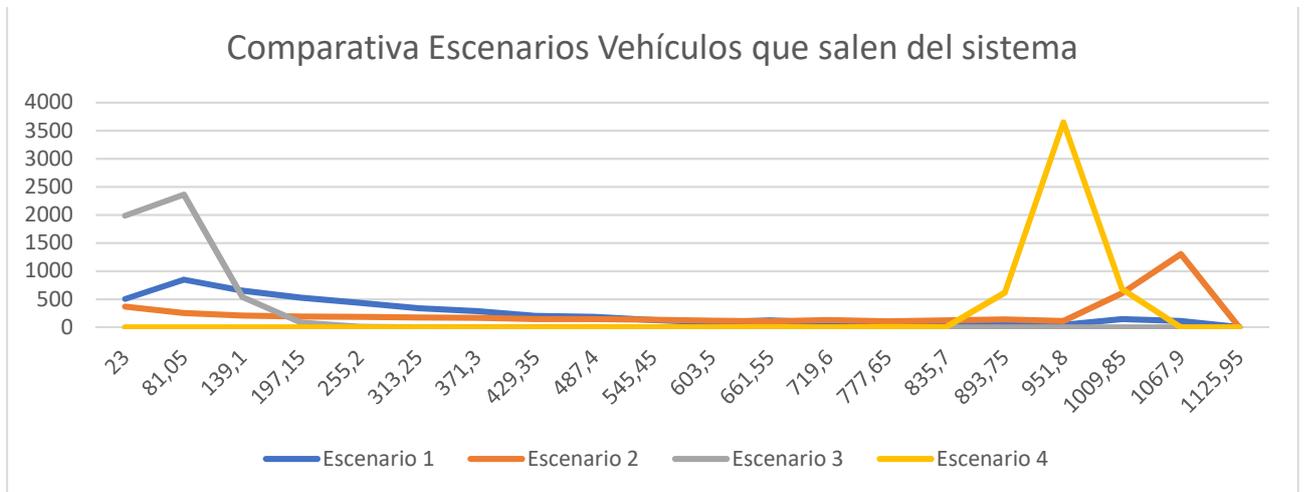


Figura 26: Gráfica comparativa de vehículos que salen del sistema.

# Capítulo 4 Conclusiones y líneas futuras

Hoy en día las rotondas o intersecciones son proclives a generar atascos, que pueden ser debidos a cualquier tipo de incidentes dentro de la rotonda, aumento del tráfico a determinadas horas por la entrada o salida de la universidad, etc. Es por ello que una de las rotondas con más retenciones de la isla de Tenerife, esté en constante estudio ya que dichas retenciones no sólo afectan a la rotonda sino a la autopista también.

Hace unos meses salió el proyecto de crear una pasarela para los peatones y aunque nos haya cogido en medio de este TFG, hemos querido analizarlo y así comprobar la efectividad de ambos modelos.

Gracias a la creación, no sólo del modelo propuesto por el Cabildo, sino también del sistema actual, se han podido simular los diferentes escenarios para poder analizar cómo influyen en la fluidez del tráfico dentro de la rotonda del Padre Anchieta. En concreto, en este Trabajo Fin de Grado, se pretendía averiguar si la inclusión de los semáforos inteligentes mejoraría dicho tráfico y se ha demostrado que lo mejora.

Una vez analizados los resultados, podemos decir que la inclusión de los semáforos inteligentes mejora la intensidad media diaria de los vehículos, reduciendo así las retenciones que se producen a día de hoy. También se ha observado, que mejora la media de vehículos en 1 hora con respecto al escenario 2, en el cual no existen peatones, entendemos que es debido a que no existen señales de tráfico que controlen el tráfico, si no que las decisiones pasan a ser humanas.

Como líneas futuras a este TFG:

- Mejorar el algoritmo utilizado para el control de los semáforos.
- Debido a que en la versión gratuita de Anylogic no hemos podido calibrar el sistema, adquirir una versión de pago para poder calibrar el sistema.
- Debido a que en la versión gratuita de Anylogic no hemos podido calentar el sistema de manera automática, adquirir una versión de pago para poder calentar el sistema de manera automática y sin tener que reducir el tiempo de simulación como en nuestro caso.
- Obtención de datos exacto de las intensidades medias diarias de vehículos de cada entrada/salidas de la rotonda del Padre Anchieta.
- Obtención de datos exacto de las intensidades medias diarias de peatones de cada entrada/salidas de la rotonda del Padre Anchieta.

# Capítulo 5 Summary and Conclusions

Nowadays roundabouts or intersections are prone to generate traffic jams, which can be due to any type of incident inside the roundabout, increased traffic at certain times by the entrance or exit of the university, etc. It is for this reason that one of the roundabouts with the most traffic jams on the island of Tenerife is constantly being studied, as these jams do not only affect the roundabout but also the motorway.

A few months ago came the project to create a footbridge for pedestrians and although we have caught in the middle of this TFG, we wanted to analyze and check the effectiveness of both models.

Thanks to the creation, not only of the model proposed by the Cabildo, but also of the current system, it has been possible to simulate the different scenarios in order to analyse how they influence the flow of traffic inside the Padre Anchieta roundabout. Specifically, in this Final Degree Paper, the aim was to find out whether the inclusion of intelligent traffic lights would improve this traffic and it has been shown to improve it.

Once the results have been analysed, we can say that the inclusion of intelligent traffic lights improves the average daily intensity of vehicles, thus reducing the retentions that occur today. It has also been observed that the average number of vehicles improves by 1 hour with respect to scenario 2, in which there are no pedestrians, we understand that this is due to the fact that there are no traffic signs that control the traffic, but rather that the decisions become human.

As future lines to this TFG:

- Improve the algorithm used to control traffic lights.
- Due to the fact that in the free version of Anylogic we have not been able to calibrate the system, acquire a paid version in order to calibrate the system.
- Due to the fact that in the free version of Anylogic we have not been able to heat the system automatically, to acquire a paid version to be able to heat the system automatically and without having to reduce the simulation time as in our case.
- Obtaining exact data of the daily average intensities of vehicles of each entry / exits of the roundabout of the Father Anchieta.
- Obtaining exact data of the daily average intensities of pedestrians of each entrance/exits of the roundabout of the Father Anchieta.

# Capítulo 6 Presupuesto

A continuación, se muestra en la tabla 7 el presupuesto correspondiente a la elaboración de este proyecto.

Tareas	Horas	Precio/hora	Precio
Revisión Bibliográfica	20 h	20 €/h	400 €
Desarrollo de los modelos	150 h	20 €/h	3.000 €
Simulaciones	75 h	20 €/h	1.500 €
Desarrollo de la memoria	55 h	20 €/h	1.100 €
Licencia de Anylogic	1 unidad	2.000 €	2.000 €
<b>Total</b>	<b>300 h</b>		<b>8.000 €</b>

Tabla 7: Presupuesto

# Apéndices.

## Apéndice 1 - Algoritmo de control de semáforos.

```
if (v_TF5_N_IN >= 10)
{
    if (trafficLight_TF5_N.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_TF5_N.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_N.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_TF5_N.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_TF5_N.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_TF5_N.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {
        trafficLight_TF5_N.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_N.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_N.switchToNextPhase();
    }
    p_TF5_N_R = 20;
    p_TF5_N_V = 40;
}
else
{
    p_TF5_N_R = 30;
    p_TF5_N_V = 30;
}

if (v_ETSII_IN >= 2 || v_ETSII_OUT >= 1)
{
    if (trafficLight_ETSII.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_ETSII.switchToNextPhase();
        trafficLight_ETSII.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_ETSII.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_ETSII.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_ETSII.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {
        trafficLight_ETSII.switchToNextPhase();
        trafficLight_ETSII.switchToNextPhase();
        trafficLight_ETSII.switchToNextPhase();
    }
    p_ETSII_R = 10;
    p_ETSII_V = 50;
}
else
{
    p_ETSII_R = 30;
    p_ETSII_V = 30;
}

if (v_Rotonda_4 >= 3)
{
    // Cambiar a la fase roja
    if (trafficLight_ETSII_2.getCurrentPhaseIndex() == 2)
```

```

    {
        trafficLight_ETSI2_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_ETSI2_2.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_ETSI2_2.getCurrentPhaseIndex() == 3)
        trafficLight_ETSI2_2.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_ETSI2_2.getCurrentPhaseIndex() == 1)
    {
        trafficLight_ETSI2_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_ETSI2_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_ETSI2_2.switchToNextPhase();
    }
    p_ETSI2_2_R = 40;
    p_ETSI2_2_V = 20;
}

if (v_Trinidad_OUT >= 2)
{
    if (trafficLight_Trinidad_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_Trinidad_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_Trinidad_OUT.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_Trinidad_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_Trinidad_OUT.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_Trinidad_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {
        trafficLight_Trinidad_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_Trinidad_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_Trinidad_OUT.switchToNextPhase();
    }
    p_Trinidad_OUT_R = 10;
    p_Trinidad_OUT_V = 50;
}
else
{
    p_Trinidad_OUT_R = 30;
    p_Trinidad_OUT_V = 30;
}

if (v_Rotonda_2 >= 3)
{
    if (trafficLight_TF5_N_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_TF5_N_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_N_OUT.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_TF5_N_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_TF5_N_OUT.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_TF5_N_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {
        trafficLight_TF5_N_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_N_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_N_OUT.switchToNextPhase();
    }
    p_TF5_N_OUT_R = 10;
    p_TF5_N_OUT_V = 50;
}

```

```

else
{
    p_TF5_N_OUT_R = 30;
    p_TF5_N_OUT_V = 30;
}

if (v_Rotonda_5 >= 3)
{
    if (trafficLight_Esperanza.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_Esperanza.switchToNextPhase();
        trafficLight_Esperanza.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_Esperanza.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_Esperanza.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_Esperanza.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {
        trafficLight_Esperanza.switchToNextPhase();
        trafficLight_Esperanza.switchToNextPhase();
        trafficLight_Esperanza.switchToNextPhase();
    }
    p_Espe_R = 10;
    p_Espe_V = 50;
    // Cambiar a la fase roja
    if (trafficLight_Esperanza_2.getCurrentPhaseIndex() == 2)
    {
        trafficLight_Esperanza_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_Esperanza_2.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_Esperanza_2.getCurrentPhaseIndex() == 3)
        trafficLight_Esperanza_2.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_Esperanza_2.getCurrentPhaseIndex() == 1)
    {
        trafficLight_Esperanza_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_Esperanza_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_Esperanza_2.switchToNextPhase();
    }

    p_Espe_2_R = 40;
    p_Espe_2_V = 20;
}
else
{
    p_Espe_R = 30;
    p_Espe_V = 30;
}

if (v_Rotonda_6 >= 3)
{
    if (trafficLight_TF5_SC_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_TF5_SC_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_SC_OUT.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_TF5_SC_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_TF5_SC_OUT.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_TF5_SC_OUT.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {

```

```

        trafficLight_TF5_SC_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_SC_OUT.switchToNextPhase();
        trafficLight_TF5_SC_OUT.switchToNextPhase();
    }
    if (trafficLight_Geneto.getCurrentPhaseIndex() == 0)
    {
        trafficLight_Geneto.switchToNextPhase();
        trafficLight_Geneto.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_Geneto.getCurrentPhaseIndex() == 1)
        trafficLight_Geneto.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_Geneto.getCurrentPhaseIndex() == 3)
    {
        trafficLight_Geneto.switchToNextPhase();
        trafficLight_Geneto.switchToNextPhase();
        trafficLight_Geneto.switchToNextPhase();
    }
    p_TF5_SC_OUT_R = 10;
    p_TF5_SC_OUT_V = 50;
    p_Geneto_R = 10;
    p_Geneto_V = 50;

    // Cambiar a la fase roja
    if (trafficLight_Geneto_2.getCurrentPhaseIndex() == 2)
    {
        trafficLight_Geneto_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_Geneto_2.switchToNextPhase();
    }
    else if (trafficLight_Geneto_2.getCurrentPhaseIndex() == 3)
        trafficLight_Geneto_2.switchToNextPhase();
    else if (trafficLight_Geneto_2.getCurrentPhaseIndex() == 1)
    {
        trafficLight_Geneto_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_Geneto_2.switchToNextPhase();
        trafficLight_Geneto_2.switchToNextPhase();
    }

    p_Geneto_R = 40;
    p_Geneto_V = 20;
}
else
{
    p_TF5_SC_OUT_R = 30;
    p_TF5_SC_OUT_V = 30;
    p_Geneto_R = 30;
    p_Geneto_V = 30;
}
}

```

# Apéndice 2 - Diseños lógicos de circulación

## Escenario 1:

### Vehículos.

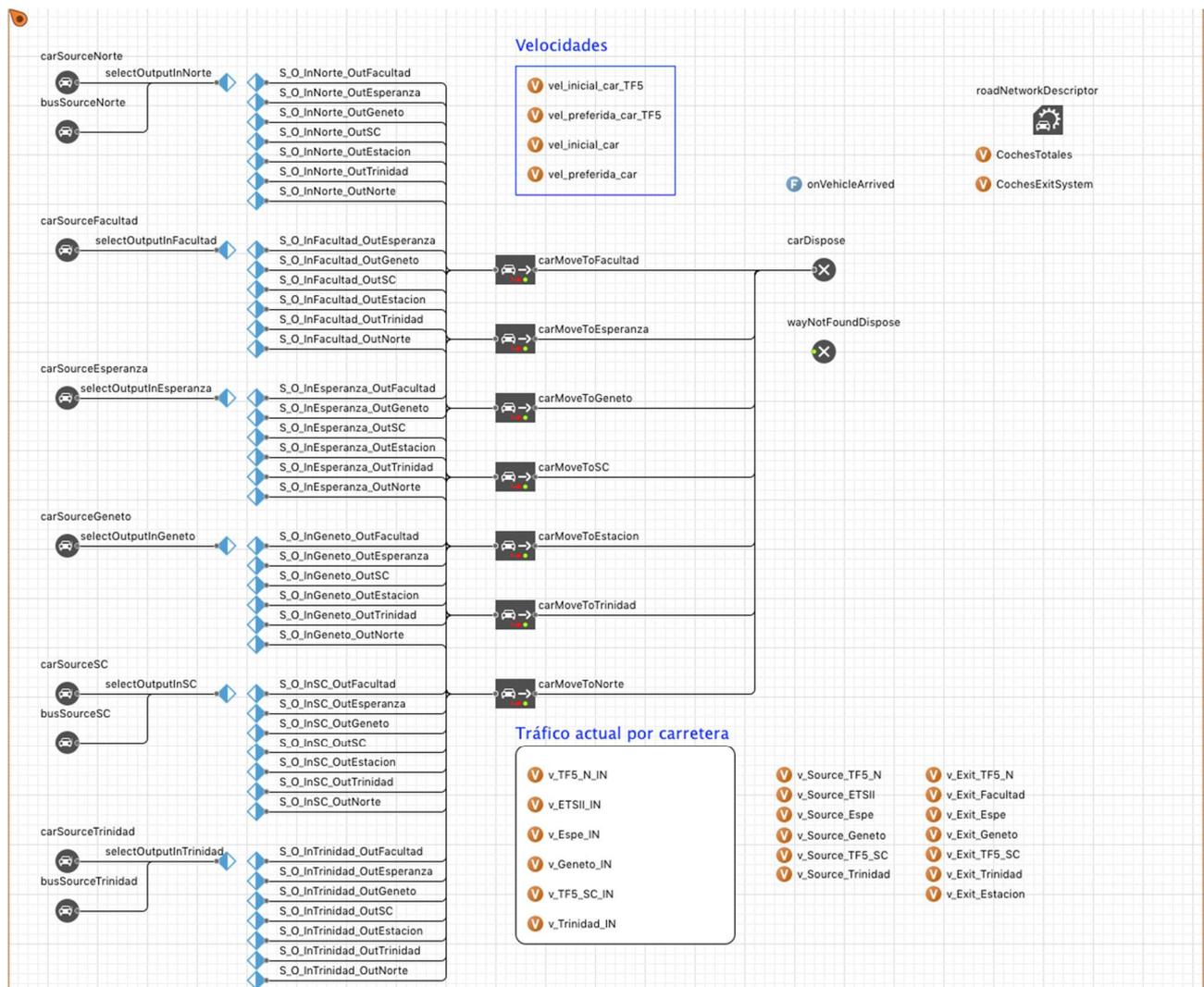


Figura 27: Escenario 1 - Diseño lógico de circulación de vehículos

# Peatones.

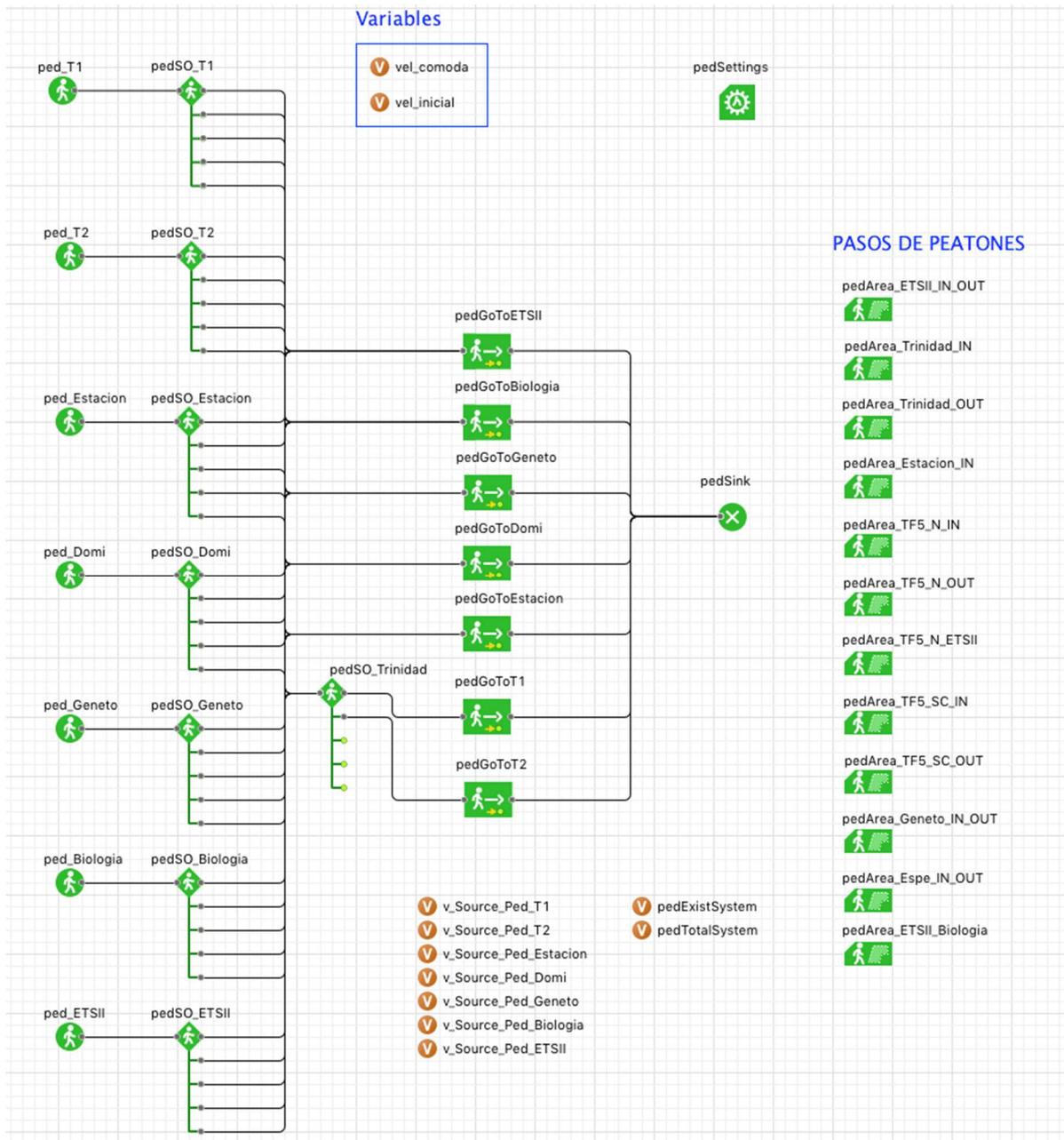


Figura 28: Escenario 1 - Diseño lógico de circulación de peatones

## Escenario 2:

### Vehículos.

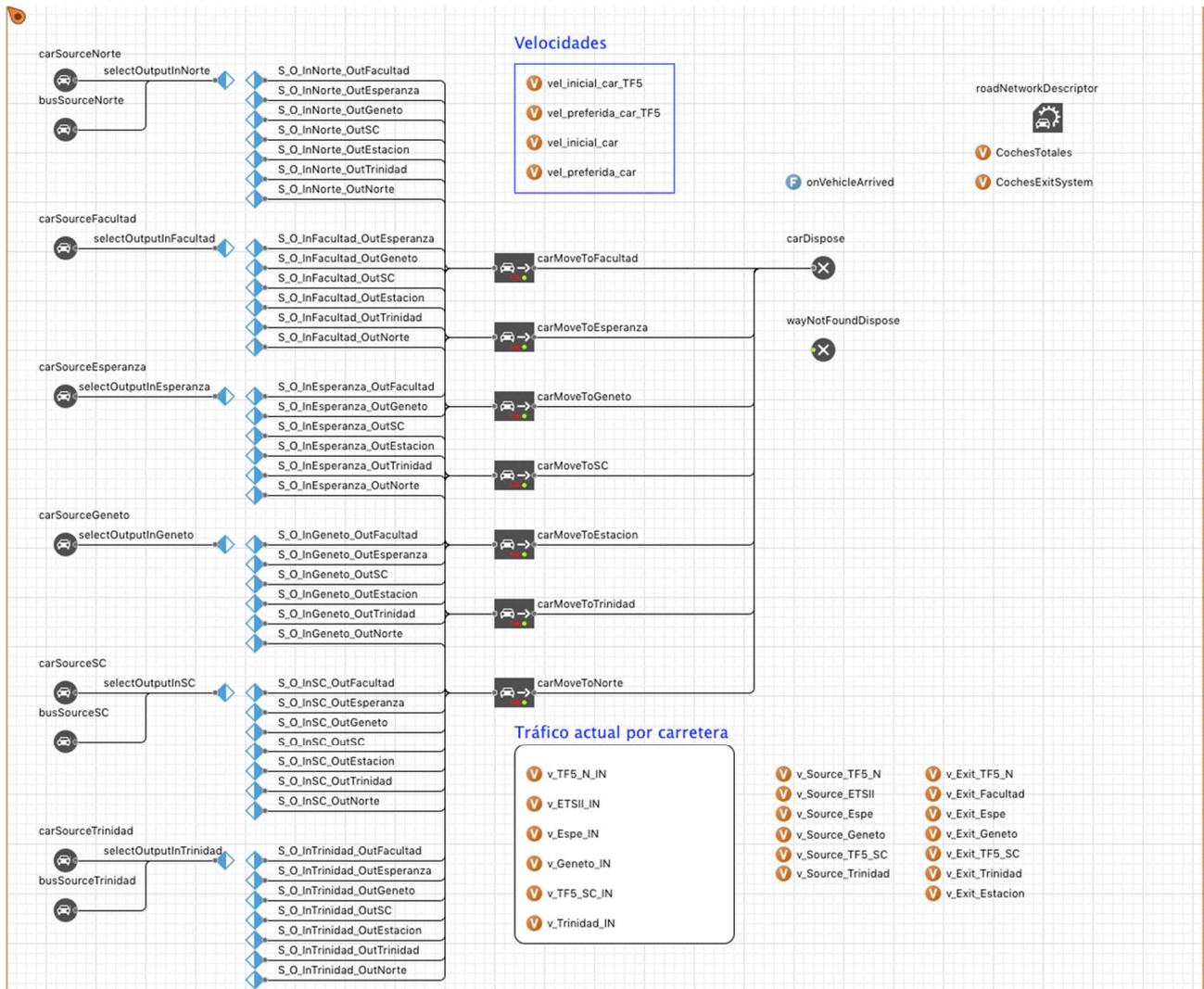


Figura 29: Escenario 2 - Diseño lógico de circulación de vehículos

# Escenario 3:

## Vehículos.

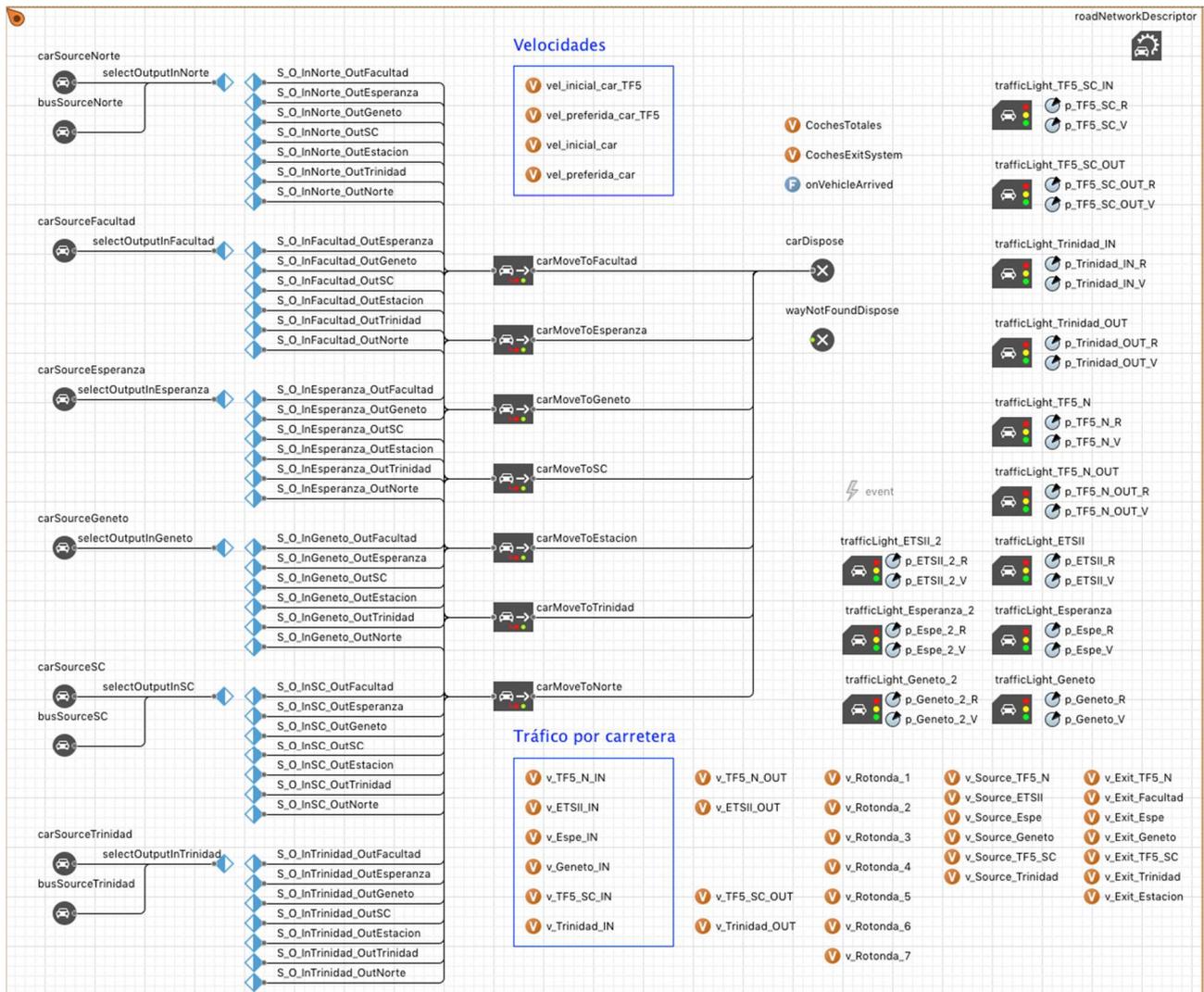


Figura 30: Escenario 3 - Diseño lógico de circulación de vehículos

# Peatones.

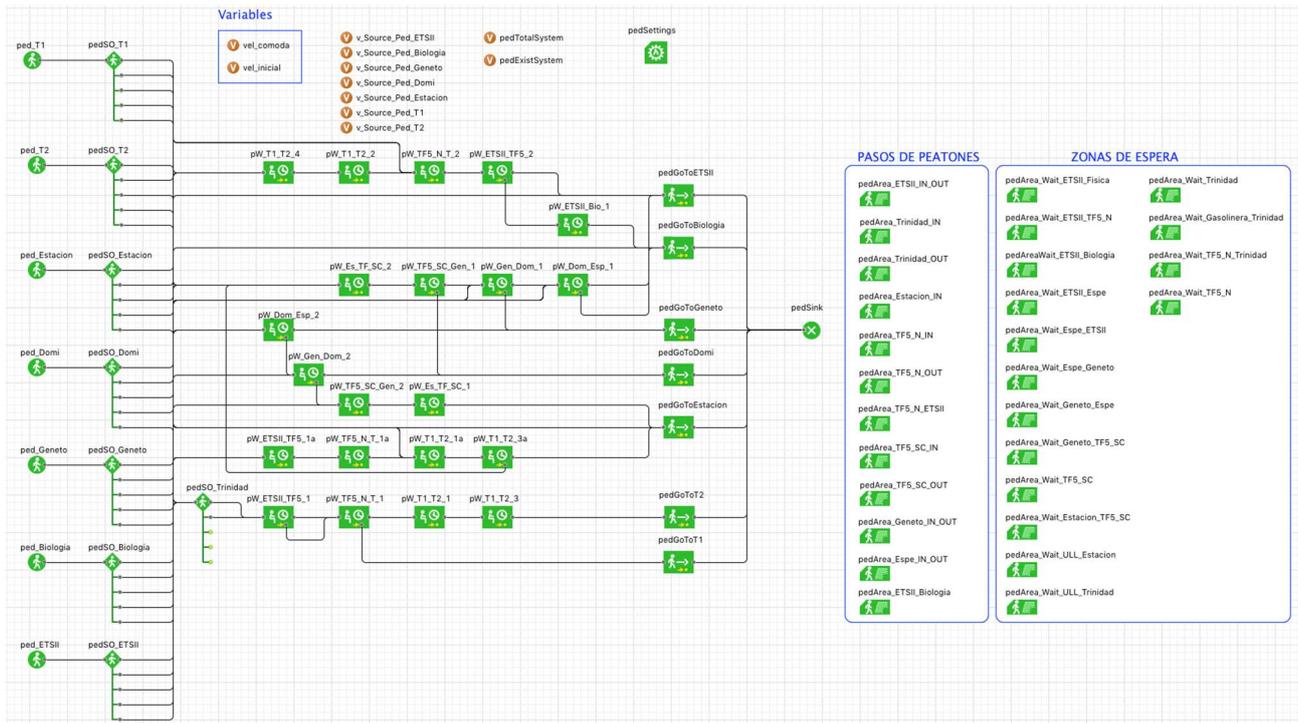


Figura 31: Escenario 3 - Diseño lógico de circulación de peatones.

# Escenario 4: Vehículos.

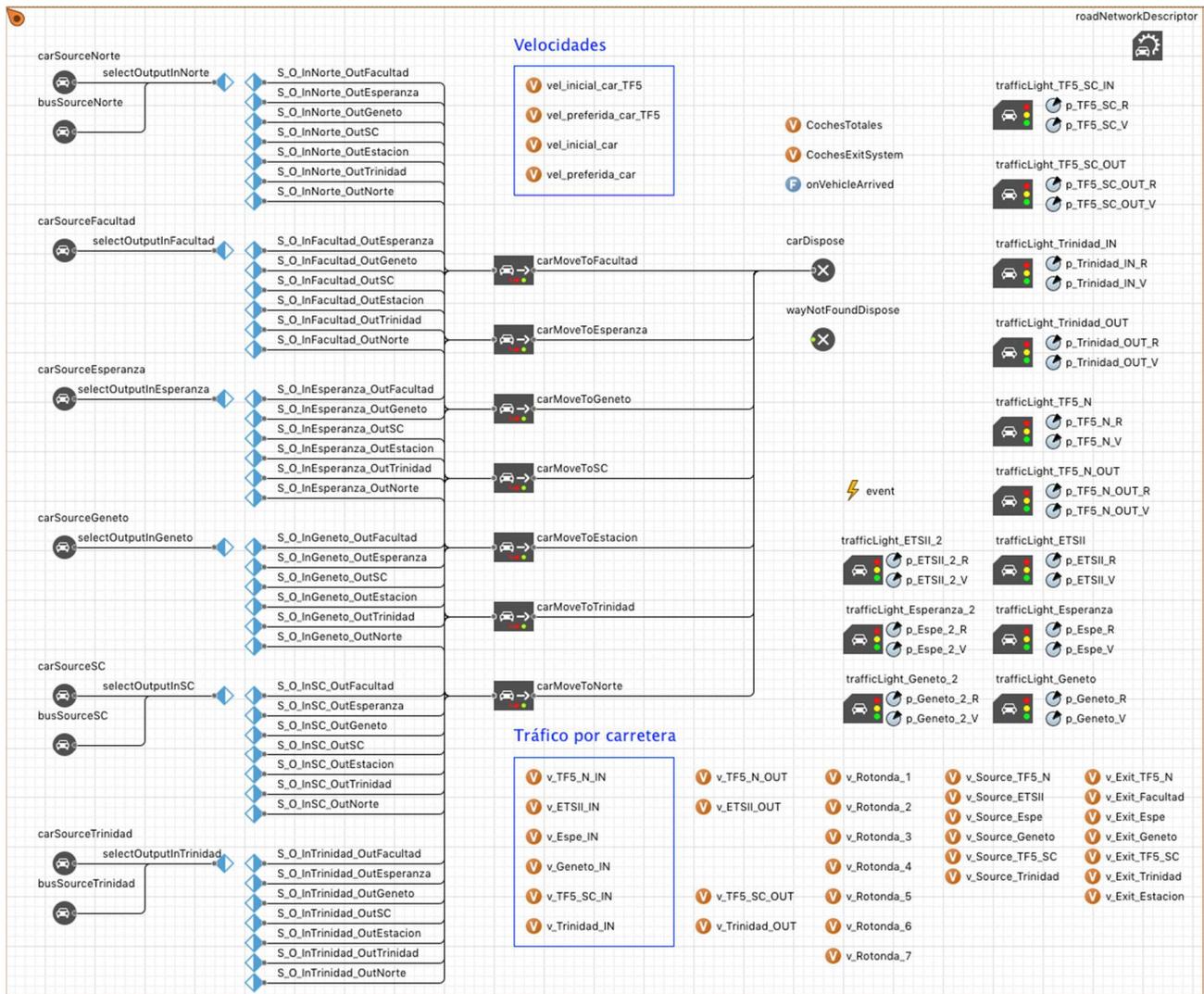


Figura 32: Escenario 4 - Diseño lógico de circulación de vehículos

# Peatones.

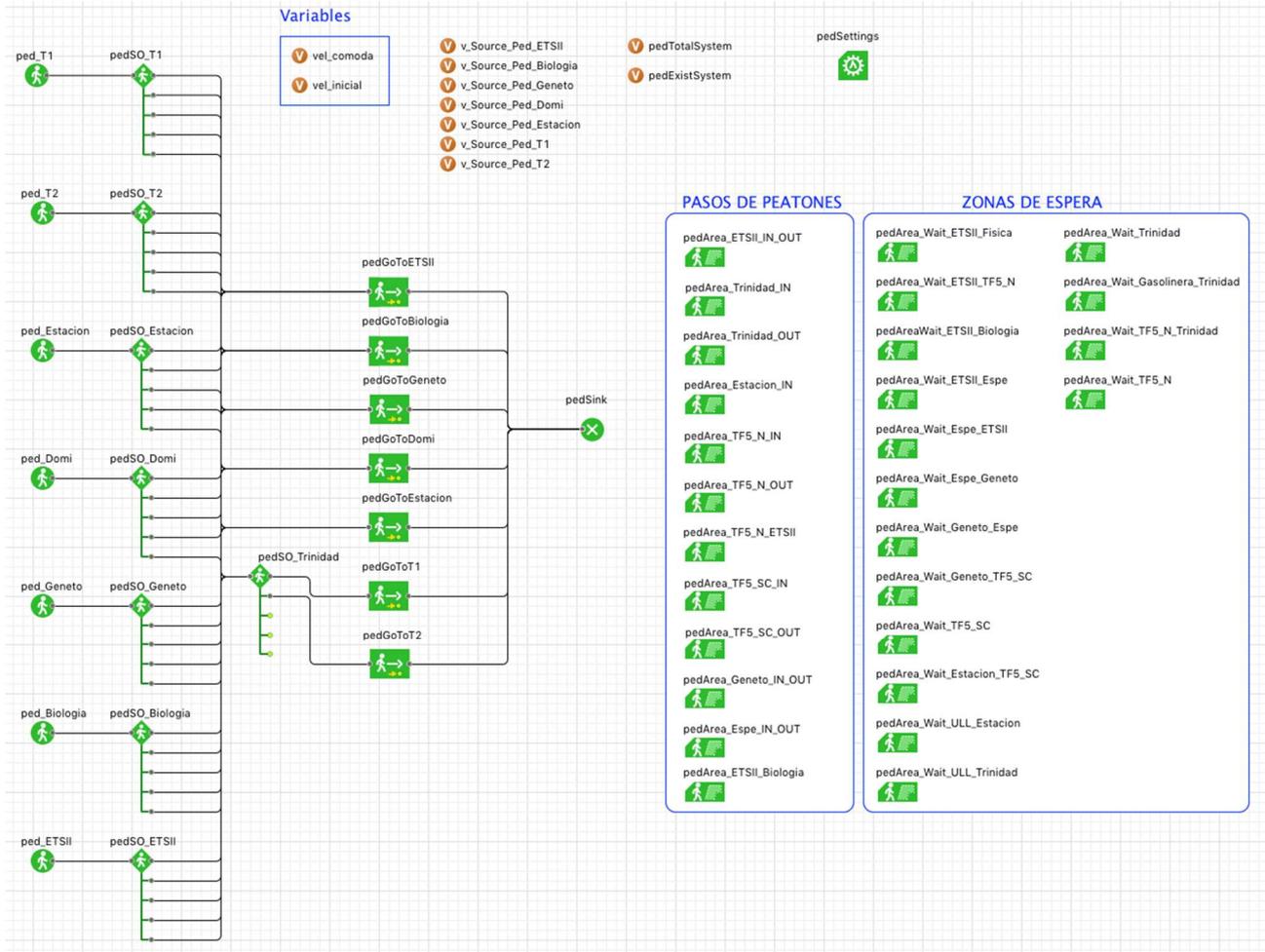


Figura 33: Escenario 4 - Diseño lógico de circulación de peatones.

## Tabla velocidades peatones.

### TABLA RELACIÓN VELOCIDAD DE PEATONES CAMINANDO

Enviado por: [Taker](#)

Edad (años)	Muestra (nº personas)	Velocidad (metros/segundo)		
		15 %	50 %	85 %
de 5 a 9	26	1,38	1,8	2,37
de 10 a 14	37	1,35	1,65	2,07
de 15 a 19	47	1,44	1,62	2,04
de 20 a 24	65	1,38	1,59	1,83
de 24 a 34	70	1,44	1,59	1,95
de 35 a 44	67	1,32	1,59	1,92
de 45 a 54	73	1,29	1,5	1,71
de 55 a 64	90	1,26	1,44	1,65
+ de 65	67	1,05	1,26	1,44

Tabla 8: Relación velocidad de peatones caminando [8]

## Apéndice 3 – Resultados por escenario.

### Escenario 1: Vehículos.

Estadísticas	Coches Origen						Coches Salidas						
	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	Estación
<b>Media</b>	237,95	81,07	26,91	28,74	174,78	41,41	41,97	56,05	19,26	10,21	155,31	50,04	11,66
<b>Desv. Est.</b>	96,12	63,88	22,00	21,95	13,22	22,52	40,16	56,70	21,46	11,24	89,45	52,45	12,56
<b>Min</b>	64	0	0	0	119	0	0	0	0	0	23	0	0
<b>Max</b>	488	277	102	109	223	116	182	240	108	56	421	232	64
<b>IC95+</b>	434,975	240	83	83	201	94	149	207	78	40	362	193	46
<b>IC95-</b>	108	5	1	2	149	13	2,025	0	0	0	48	0	0

Tabla 9: Escenario 1 - Resultados de origen y salida de vehículos.

Estadísticas	Coches Totales	Coches Salientes	Coches en el Sistema	Promedio de velocidad	Promedio en el sistema	Promedio paradas por coche
<b>Media</b>	590,86	344,50	283,90	48,31	76,50	1,79
<b>Desv. Est.</b>	222,33	279,95	74,41	6,26	16,28	0,55
<b>Min</b>	238	27	12	24,46	38,84	0,15
<b>Max</b>	1176	1180	388	67,70	319,40	4,40
<b>IC95+</b>	1085,975	1067	359	59,29	114,20	2,93
<b>IC95-</b>	306	53	28	32,42	52,65	0,73

Tabla 10: Escenario 1 - Resultados totales de vehículos.

**Peatones.**

Estadísticas	Peatones Origen							Peatones Salidas						
	Facultad ETSII	Facultad Biología	Geneto	Dominicas	Estación	Trinidad T1	Trinidad T2	Facultad ETSII	Facultad Biología	Geneto	Dominicas	Estación	Trinidad T1	Trinidad T2
Media	249,8254	166,3974	20,8446	20,8828	124,8108	83,3218	83,333	15,298	16,247	7,1294	7,2302	23,0408	8,3062	8,8346
Desv. Est.	16,06	12,75	4,57	4,59	11,34	9,13	9,08	4,44	4,62	2,80	2,89	5,72	3,14	3,20
Min	195	121	7	7	85	53	52	2	1	0	0	7	0	1
Max	323	213	37	37	171	116	117	33	38	21	23	46	24	23
IC95+	282	192	30	30	148	102	102	25	26	13	13	35	15	16
IC95-	218	141	12	12	103	66	66	8	8	2	2	13	3	3

Tabla 11: Escenario 1 - Resultados de origen y salida de peatones.

Estadísticas	Peatones Totales	Peatones Salientes	Peatones en el sistema
Media	749,42	749,05	86,09
Desv. Est.	27,55	27,73	15,14
Min	658	660	48
Max	851	852	144
IC95+	803,00	803,00	118
IC95-	695,00	695,00	60

Tabla 12: Escenario 1 - Resultados totales de peatones.

## Escenario 2:

### Vehículos.

Estadísticas	Coches Origen						Coches Salidas						
	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	Estación
<b>Media</b>	335,21	162,82	54,44	55,38	174,81	66,92	96,36	130,11	47,82	25,12	258,86	121,29	28,05
<b>Desv. Est.</b>	111,68	84,90	30,59	30,04	13,07	29,00	58,30	82,01	31,30	16,68	114,64	78,08	18,30
<b>Min</b>	58	0	0	0	131	0	0	0	0	0	22	0	0
<b>Max</b>	502	294	114	112	231	120	197	266	116	62	423	243	68
<b>IC95+</b>	456	262,975	97	97	202	106	171,975	232	92	51	391	221	56
<b>IC95-</b>	105	6	0	1	149	12	3	0	0	0	47	0	0

Tabla 13: Escenario 2 - Resultados de origen y salida de vehículos.

Estadísticas	Coches Totales	Coches Salientes	Coches en el Sistema	Promedio de velocidad	Promedio en el sistema	Promedio paradas por coche
<b>Media</b>	849,59	707,61	169,68	45,13	64,93	1,00
<b>Desv. Est.</b>	280,48	393,37	132,41	7,39	14,11	0,51
<b>Min</b>	218	23	6	26,61	40,10	0,06
<b>Max</b>	1200	1184	413	67,19	180,69	3,88
<b>IC95+</b>	1138	1133	357	59,04	100,90	2,23
<b>IC95-</b>	303	52	13	32,55	47,34	0,40

Tabla 14: Escenario 2 - Resultados totales de vehículos.

### Escenario 3:

#### Vehículos.

Estadísticas	Coches Origen						Coches Salidas						
	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	Estación
<b>Media</b>	129,58	9,40	5,34	7,56	175,09	19,89	8,26	9,90	2,05	1,01	65,74	8,14	1,70
<b>Desv. Est.</b>	25,31	7,97	3,44	4,67	13,39	6,13	4,45	9,23	2,68	1,44	18,03	7,09	1,95
<b>Min</b>	66	0	0	0	133	1	0	0	0	0	27	0	0
<b>Max</b>	236	59	25	36	223	54	41	63	27	11	150	68	14
<b>IC95+</b>	184	29	14	18	202	32	19	33	9	5	104,925	26	7
<b>IC95-</b>	83	0	0	1	150	9	1,075	0	0	0	35	0	0

Tabla 15: Escenario 3 - Resultados de origen y salida de vehículos.

Estadísticas	Coches Totales	Coches Salientes	Coches en el Sistema	Promedio de velocidad	Promedio en el sistema	Promedio paradas por coche
<b>Media</b>	346,87	96,79	337,35	43,46	145,06	3,42
<b>Desv. Est.</b>	42,81	37,58	17,76	6,34	49,74	1,40
<b>Min</b>	238	31	265	21,46	47,17	0,17
<b>Max</b>	538	332	399	62,65	540,19	11,30
<b>IC95+</b>	443,85	186,93	371	55,36	263,62	6,56
<b>IC95-</b>	275	43,08	303	30,26	76,32	1,10

Tabla 16: Escenario 3 - Resultados totales de vehículos.

## Peatones.

Estadísticas	Peatones Origen							Peatones Salidas						
	Facultad ETSII	Facultad Biología	Geneto	Dominicas	Estación	Trinidad T1	Trinidad T2	Facultad ETSII	Facultad Biología	Geneto	Dominicas	Estación	Trinidad T1	Trinidad T2
Media	249,67	167,23	20,98	20,93	125,03	83,39	83,43	12,84	1,93	2,86	0,04	2,53	0	0,67
Desv. Est.	15,99	12,99	4,57	4,68	11,45	9,24	9,26	4,86	1,39	1,72	0,20	1,69	0,00	0,94
Min	204	116	9	7	88	55	55	1	0	0	0	0	0	0
Max	305	217	40	35	171	121	116	35	8	10	2	12	0	5
IC95+	280	191	31	31	148	102	102	24	5	7	1	6	0	3
IC95-	220	142	13	12	104	65	66	5	0	0	0	0	0	0

Tabla 17: Escenario 3 - Resultados de origen y salida de peatones.

Estadísticas	Peatones Totales	Peatones Salientes	Peatones en el sistema
Media	750,65	449,36	410,56
Desv. Est.	28,94	24,17	30,36
Min	660	347	325
Max	829	532	519
IC95+	805,00	497,00	473
IC95-	692,08	401,08	351,075

Tabla 18: Escenario 3 - Resultados totales de peatones.

## Escenario 4:

### Vehículos.

Estadísticas	Coches Origen						Coches Salidas						
	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	TF5_N	Facultad	Esperanza	Geneto	TF5_SC	Trinidad	Estación
<b>Media</b>	423,05	161,13	62,63	69,08	174,95	91,64	115,17	209,22	69,96	36,52	319,76	187,39	39,83
<b>Desv. Est.</b>	22,65	12,18	6,84	5,92	13,24	9,93	11,29	17,45	8,80	6,33	20,16	16,31	6,49
<b>Min</b>	123	0	0	0	121	15	3	3	0	0	55	4	0
<b>Max</b>	498	189	87	87	225	125	158	271	105	60	385	242	61
<b>IC95+</b>	463	178	75	79	201	111	135	239	86	49	354	215	53
<b>IC95-</b>	384	140	50	59	150	73	95	180	53	25	286	161	28

Tabla 19: Escenario 4 - Resultados de origen y salida de vehículos.

Estadísticas	Coches Totales	Coches Salientes	Coches en el Sistema	Promedio de velocidad	Promedio en el sistema	Promedio paradas por coche
<b>Media</b>	982,48	977,84	45,43	28,31	137,53	1,60
<b>Desv. Est.</b>	36,95	50,00	19,63	2,90	14,45	0,18
<b>Min</b>	339	66	24	19,68	61,71	0,77
<b>Max</b>	1079	1069	376	60,81	266,55	3,55
<b>IC95+</b>	1036,00	1031	60	33,20	169,06	2,00
<b>IC95-</b>	929	927	32,025	23,65	113,10	1,35

Tabla 20: Escenario 4 - Resultados totales de vehículos.

**Peatones.**

Estadísticas	Peatones Origen							Peatones Salidas						
	Facultad ETSII	Facultad Biología	Geneto	Dominicas	Estación	Trinidad T1	Trinidad T2	Facultad ETSII	Facultad Biología	Geneto	Dominicas	Estación	Trinidad T1	Trinidad T2
Media	250,087	166,782	20,8714	20,8492	124,964	83,2598	83,2098	16,261	18,1676	7,313	7,3912	25,5458	9,0796	10,038
Desv. Est.	15,81	12,81	4,62	4,55	11,21	9,32	9,16	4,74	4,88	2,85	2,83	6,00	3,46	3,41
Min	189	124	7	7	87	54	52	3	4	0	0	6	0	0
Max	305	219	39	43	168	123	125	44	42	22	20	54	33	31
IC95+	281	192	30	30	147	102	102	26	29	13	13,975	38	17	17
IC95-	220	142	12	12	104	66	66	8	10	2	2	15	3	4

Tabla 21: Escenario 4 - Resultados de origen y salida de peatones.

Estadísticas	Peatones Totales	Peatones Salientes	Peatones en el sistema
Media	750,02	749,45	93,80
Desv. Est.	27,68	27,80	15,56
Min	632	624	50
Max	866	866	191
IC95+	804,00	803,00	126
IC95-	696,00	695,00	68

Tabla 22: Escenario 4 - Resultados totales de peatones.

# Bibliografía

- [1] Wikipedia, «Semáforo,» 23 05 2019. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sem%C3%A1foro>.
- [2] Ciudadypoder.mx, «Los semáforos inteligentes entrarán en operación hasta 2018,» 14 07 2017. [En línea]. Available: <https://www.ciudadypoder.mx/los-semaforos-inteligentes-entraran-en-operacion-hasta-2018/>.
- [3] AutoBild, «Así funcionan los semáforos inteligentes que evitan atascos,» 08 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.autobild.es/noticias/asi-funcionan-los-semaforos-inteligentes-que-evitan-atascos-294085>.
- [4] Motor.es, «¿Cómo circular en una turbo rotonda?,» 10 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.motor.es/noticias/circular-turbo-rotonda-201849095.html>.
- [5] Europapress, «El proyecto de la pasarela peatonal de Padre Anchieta (Tenerife) contará con una plaza anexa a la Facultad de Biología,» 16 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/islas-canarias/noticia-proyecto-pasarela-peatonal-padre-anchieta-tenerife-contara-plaza-anexa-facultad-biologia-20190516140346.html>.
- [6] BOE, «Código de Tráfico y Seguridad Vial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=20&modo=1&nota=0&tab=2>.
- [7] Explorable, «Validez Aparente,» 21 03 2009. [En línea]. Available: <https://explorable.com/es/validez-aparente>.
- [8] C. D. «Tabla-relación velocidad de peatones caminando,» 29 04 2013. [En línea]. Available: <https://causadirecta.com/especial/calculo-de-velocidades/tablas/tabla-relacion-velocidad-de-peatones-caminando>.