



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología  
Sección de Ingeniería Informática

# Trabajo de Fin de Grado

---

Simulación de una red de  
transporte multimodal en

Canarias

*Simulation of a multimodal transport network in Canary Islands*

Vanessa Marín Barella

---

La Laguna, 5 de septiembre de 2017

Dña. **María Belén Melián Batista**, con N.I.F. 44.311.040-E profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutor

D. **Christopher Expósito Izquierdo**, con N.I.F. 78.851.649-J personal docente investigador de Universidad adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como cotutor

## **C E R T I F I C A ( N )**

Que la presente memoria titulada:

*“Simulación de una red de transporte multimodal en Canarias”*

ha sido realizada bajo su dirección por Dña. **Vanessa Marín Barella**,  
con N.I.F. 78.708.608-D.

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 septiembre de 2017

## Agradecimientos

A mi familia que me ha apoyado para terminar la  
carrera.

A mis tutores por la paciencia que han tenido.

# Licencia



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

## **Resumen**

El objetivo de este trabajo es distribuir la mercancía de la empresa Mercadona desde su sede central, ubicada en Granadilla de Abona, isla de Tenerife, a sus diferentes supermercados, tanto en la isla de Tenerife como en la isla de Gran Canaria.

El pedido se realiza todos los días de lunes a sábado.

Los camiones asignados, según la zona, se encargan de repartir el pedido solicitado a cada supermercado, no pudiendo dejar a ningún de ellos sin recibir la mercancía solicitada e intentando enviar el menor número de vehículos posible.

En Tenerife, sólo hay que tener en cuenta los camiones, pero en Gran Canaria hay que considerar también el barco que desplaza a los camiones desde Tenerife, para hacer el reparto habitual al llegar a la isla, ya que hay que realizarlo en un tiempo límite para volver todos los días a la central y no perder en ningún momento el barco de vuelta a Tenerife.

La flota total para Tenerife es de 140 camiones, pero esto supone un gran costo para la empresa, ya que debe de tener siempre disponibles 4 camiones para cada supermercado y lo que se quiere es optimizar y mandar entre 0 y

4. En el caso de Gran Canaria la flota es de 45 camiones, pero se quiere optimizar para que sean entre 0 y 3. En los dos casos el número de camiones se decide en base a los pedidos de los supermercados.

El experimento que se va a plantear con esta simulación consiste en averiguar la flota óptima de camiones, tomando como punto de partida los escenarios descritos y llegando a conclusiones óptimas para la flota total de la empresa.

**Palabras clave:** supermercado, mercancía, distribución, camiones, barco, multimodal

### **Abstract**

The target of this work has been to distribute Mercadona supplies from its central, located at Granadilla de Abona, Tenerife island, to its different supermarkets located not only at Tenerife island but at Gran Canaria island, as well.

Supermarkets make orders every day from Monday to Saturday.

The assigned trucks, according to the area, distribute the requested orders to each supermarket and are not allowed to leave any supermarket without receiving the supplies needed.

In Tenerife, you only have to take into account the trucks, but in Gran Canaria you must also consider the boat that moves them from Tenerife to make the usual deal once they arrive on the island, but having to make a time limit dead line to return all days to the central and never lose the ship back to

Tenerife.

The total fleet for Tenerife 140 trucks, but that is a big cost for the company since there must always be 4 trucks available for each supermarket and what would be more desirable is to optimize this and use between 1 and 4.

In Gran Canaria case, fleet consist of 45 trucks and the optimization must be on a number between 1 and 3.

In both cases the number of trucks to be sent is decided taking into account the number of orders from supermarkets.

The experiment that will be presented with this simulation is to find out the optimal fleet of trucks.

**Keywords:** supermarket, supplies, distribution, trucks, boat, multimodal.

# Índice general

<b>Capítulo 1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Transporte Multimodal.....	1
1.1.1 Ventajas.....	1
1.1.2 Desventajas.....	3
1.2 Motivación de selección del proyecto.....	3
<b>Capítulo 2 Conceptos.....</b>	<b>5</b>
2.1 Simulación.....	5
2.1.1 Etapas para llevar a cabo una simulación.....	5
2.1.2 Tipos de simulación.....	6
2.1.3 Ventajas de la simulación.....	6
2.1.4 Desventajas de la simulación.....	7
2.2 Optimización.....	7
2.3 Comparativa entre la simulación y la optimización.....	8
2.3.1 Características comunes.....	8
2.3.2 Simulación vs Optimización.....	8
2.3.3 Herramientas de Simulación y Optimización.....	10
<b>Capítulo 3 Objetivos.....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 4 Problemática.....</b>	<b>13</b>

<b>Capítulo 5 Desarrollo del proyecto.....</b>	<b>16</b>
5.1 AnyLogic.....	16
5.1.1 Definición.....	16
5.1.2 Características.....	16
5.1.3 Industrias en las que se utiliza.....	17
5.1.4 Entorno de trabajo.....	17
5.1.5 Guía general para manejar el AnyLogic.....	22
5.2 Modelos a diseñar.....	22
5.2.1 Simulación de Tenerife.....	22
5.2.2 Ejecución de simulación de Tenerife.....	28
5.2.3 Simulación de Gran Canaria.....	29
5.2.4 Ejecución de la simulación de Gran Canaria.....	36
<b>Capítulo 6 Optimización.....</b>	<b>45</b>
6.1 Tenerife.....	45
6.2 Gran Canaria.....	50
<b>Capítulo 7 Conclusiones y líneas futuras.....</b>	<b>56</b>
7.1 Conclusiones.....	56
7.2 Líneas futuras.....	57
<b>Capítulo 8 Summary and Conclusions.....</b>	<b>58</b>
8.1 Conclusions.....	58
8.2 Summary.....	59
<b>Capítulo 9 Presupuesto.....</b>	<b>60</b>
9.1 Formación de Herramienta AnyLogic.....	60
9.2 Desarrollo del proyecto.....	60
9.3 Presupuesto Total.....	61



# Índice de figuras

Figura 5.1: Ventana principal de AnyLogic.....	18
Figura 5.2: Menú en la parte superior del AnyLogic.....	18
Figura 5.3: Barra de herramientas en la parte superior del AnyLogic.....	18
Figura 5.4: Proyectos abiertos en el AnyLogic.....	19
Figura 5.5: Paleta con las bibliotecas.....	20
Figura 5.6: Main del Modelo.....	21
Figura 5.7: Propiedades del elemento "localizacionSupermercadosTfe" .	21
Figura 5.8: Gráfico de Estados de Tenerife.....	23
Figura 5.9: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Tenerife.....	24
Figura 5.10: Main de Distribución de Mercancía de Tenerife.....	28
Figura 5.11: Main de Distribución de Mercancía de Gran Canaria.....	29
Figura 5.12: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria.....	31
Figura 5.13: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria: Primera Fase.....	31
Figura 5.14: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria: Segunda Fase.....	33

Figura 5.15: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria: Tercera Fase.....	34
Figura 5.16: Gráfico de Estados de Gran Canaria.....	36
Figura 5.17: Selección de proyecto para simulación.....	36
Figura 5.18: Barra de Herramientas Superior del AnyLogic.....	37
Figura 5.19: Ventana inicial de Simulación de la Distribución de Mercancía de Mercadona de Gran Canaria.....	37
Figura 5.20: Comienzo de simulación de la Distribución de Mercancía de Mercadona de Gran Canaria.....	39
Figura 5.21: Continuación de la Simulación de la Figura anterior.....	40
Figura 5.22: Flota de camiones de Gran Canaria para realizar el reparto	41
Figura 5.23: Barco con flota de camiones destinados a Gran Canaria.....	42
Figura 5.24: Inicio de reparto a los supermercados que han solicitado un pedido.....	43
Figura 5.25: Fin de la jornada de trabajo.....	44
Figura 6.1: Interfaz de usuario inicial.....	48
Figura 6.2: Optimización de camiones de Tenerife.....	49
Figura 6.3: Interfaz de usuario inicial.....	53
Figura 6.4: Optimización de camiones de Gran Canaria.....	54

# Índice de tablas

Tabla 6.1: Optimización flota de Tenerife.....	50
Tabla 6.2: Optimización Flota de Gran Canaria.....	55
Tabla 9.1: Resumen de Formación de Herramienta.....	60
Tabla 9.2: Resumen del Desarrollo.....	61
Tabla 9.3: Resumen Total.....	61

# **Capítulo 1**

## **Introducción**

### **1.1 Transporte Multimodal**

La distribución de mercancías desde su lugar de origen hasta su destino final suele implicar a dos o más medios de transporte, habitualmente con características heterogéneas entre sí. Para resolverlo lo que se suele utilizar es el transporte multimodal, el cual coordina los diferentes modos de transporte, de manera que cada tramo del proceso esté conectado con la siguiente fase.

La principal singularidad del transporte multimodal es que la carga nunca se divide y siempre se transporta junta: no hay interrupciones, hay una planificación más sencilla en el origen, pero una organización más compleja en el itinerario.

#### **1.1.1 Ventajas**

- . Para el país:
  1. La descongestión de la red de transporte.
  2. Menores costes en el control de las mercancías.
  3. Mayor seguridad del recaudo de los tributos.
  4. Autocontrol del contrabando.

5. La reducción en costes de recaudos de Tributos Aduaneros.
  6. Mayor competitividad de los productos en los mercados internacionales.
  7. Menores precios de la mercancías importadas.
- Para el Operador de Transporte Multimodal (OTM) y el transporte efectivo:
1. Programación de las actividades.
  2. Control de la carga de compensación.
  3. Carga bien estibada, evitando así siniestros.
  4. Programación del uso de vehículos de transporte.
  5. Programación de ingresos.
  6. Continuación del viaje hasta el destino final.
  7. A diferencia del Tránsito Aduanero, el OTM no requiere de un Sistema de Intermediación Aduanera (SIA) para solicitar la Continuación de Viaje. El OTM es declarante.
  8. Reconocimiento del Documento de Transporte Multimodal como documento aduanero.
  9. Tratamiento preferencial en aduanas de ingreso y de paso. La carga amparada por un Documento de Transporte Multimodal debe ser autorizada para continuar el viaje el mismo día que se solicita.

. Para el usuario:

1. Menores costos en la operación total del transporte.
2. Menores tiempos de viaje.
3. Programación de los despachos y tiempos de viaje.
4. Programación de inventarios.
5. Certeza en el cumplimiento de la operación.
6. Tener un solo interlocutor con responsabilidad total.
7. Atención técnica de manejo de la carga.
8. Menores riesgos de pérdida por saqueo o robo.
9. Capacidad de negociación.

### **1.1.2 Desventajas**

1. Poca familiaridad con las nuevas tecnologías.
2. Presencia de limitaciones legales y operativas en la aplicación de normas internacionales.
3. Requerimientos de seguridad. Las inspecciones de diferentes autoridades en terminales y vías de comunicación siguen constituyendo una limitante.
4. Carencia de una visión integrada del problema. Por un lado no se cuenta con una infraestructura que facilite la realización de operaciones multimodales; pero al mismo tiempo se tiene la creencia de que el multimodalidad sólo se logra con inversiones en infraestructura y no se toman acciones dirigidas a ampliar la

oferta de servicios de transporte.

5. Estructura de la demanda. Falta de compensación de flujos lo cual afecta el ingreso de contenedores al interior.

## **1.2 Motivación de selección del proyecto**

- . Me llamó la atención aprender una herramienta de simulación (donde se explica en el apartado 2.1 ) con la cual se ven procesos de la vida real visualmente. Esto me interesa mucho porque tengo un lema: “vale más una imagen que mil palabras” ya que aquellos usuarios que no son programadores los que les llama la atención es lo que ven, no con qué herramientas está hecho.
- . Creo que un futuro lo aprendido en el Trabajo de Fin de Grado (TFG) podré aplicarlo a la vida laboral, fuera del entorno académico y no quede en saco roto, como fundamento en el apartado 7.1
- . Está hecho en Java y es un lenguaje de programación que conozco y así no tenía que aprender otro lenguaje de programación, sólo el manejo de la herramienta AnyLogic que desconocía, pero que cuando me la explicaron mis tutores, vi muchas posibilidades, no sólo para abordar mi problema concreto de este TFG.
- . Muchas empresas tienen una mala gestión para distribuir su mercancía y hacen grandes inversiones innecesarias por no hacer un estudio previo, por desconocimiento o porque no se sienten capacitados. AnyLogic les facilitaría mucho esta labor, ya que antes de hacer la inversión podrían valorar si es factible o no.

# Capítulo 2

## Conceptos

### 2.1 Simulación

La simulación es el proceso de emular el comportamiento de un sistema real o que podría serlo. De esta manera se pueden corregir el máximo de fallos antes de que el estudio se implemente en el entorno real.

#### 2.1.1 Etapas para llevar a cabo una simulación

- El **sistema** en el que se establece cuáles son los elementos que se deben imitar y conocer el propósito de cada uno.
- El **modelo** en el cual se define y se crea el espacio en el que se produce cada evento.
- La **colección de datos** obtenidos al terminar la simulación, consiguiendo así la información del proceso como si fuera original o al menos lo más aproximado posible.
- La **traslación**; con el modelo definido hay que decidir, si se va a utilizar un lenguaje de programación o una aplicación orientada a la simulación.
- La **verificación**; para evaluar que el modelo simulado cumple de acuerdo con el diseño predefinido.
- La **planificación estratégica**; decidir qué variables modificar, cuándo

hacerlo, cómo evaluar las salidas, etc según la definición del problema.

- La **planificación táctica**; decidir en qué momento comenzar a tomar datos, empezar la simulación con todas las variables a cero, etc.
- La **experimentación** consiste en generar los datos deseados y realizar un estudio de sensibilidad en los índices requeridos.
- La **interpretación**; analizar los resultados de la simulación y, en base a esto, decidir.
- La **documentación** necesaria para ayudar a los modelos futuros que continúen con simulaciones similares.

### 2.1.2 Tipos de simulación

Dependiendo de la gestión de la información:

- **Simulación discreta**: el sistema que se simula se observa sólo en puntos escogidos en el tiempo, por lo tanto, las estadísticas se consiguen saltando de un punto a otro en la escala del tiempo. Una condición para poder realizar este método es que las variables que determinan el sistema no deben de cambiar su comportamiento durante la simulación
- **Simulación continua**: el estado del sistema se puede cambiar constantemente en el tiempo, es decir, se monitoriza en todos y cada uno de los puntos en el tiempo.

Dependiendo de cómo son los sistemas:

- **Multiagente**: múltiples agentes que tienen un comportamiento independiente y dinámico, pero interactúan entre ellos en el mismo entorno.

- **Basados en eventos discretos:** cuya descripción se indica en la simulación discreta
- **Sistemas dinámicos:** permiten modelar y analizar el comportamiento de cualquier clase de sistemas a través del tiempo, pero teniendo retardos y bucles de retroalimentación.

### **2.1.3 Ventajas de la simulación**

- Permite analizar y probar los escenarios que ocurren en un sistema dado.
- El estudio detallado del sistema en simulación, hace que se comprenda mejor el mismo y aportar propuestas para perfeccionarlo.
- Enseña conocimientos elementales en el análisis teórico, análisis estadístico y en la toma de decisiones.
- Hay continuamente cambios en el sistema. Los efectos de estos cambios pueden probarse antes de ser implementados en el sistema final, es decir, el sistema real.
- Se puede utilizar para probar circunstancias nuevas de las cuales se tiene poco o ningún conocimiento.
- Los resultados son numéricos, pudiendo darle a los números un grado mayor de validez y precisión.

### **2.1.4 Desventajas de la simulación**

- La simulación, basada en datos aleatorios, suele ser inexacta, así que no se puede medir su grado de precisión con el 100% de exactitud.
- El desarrollo y la validación es costosa, se necesita de mucho tiempo.
- No dan soluciones óptimas. La solución que nos aporta puede dar al

análisis un falso sentido de seguridad.

- . Cada modelo normalmente es único.

## **2.2 Optimización**

La optimización es un proceso que nos permite elegir la mejor solución (solución óptima), máximo o mínimo, de un problema respecto a ciertas restricciones. Permite escoger la mejor solución entre otras soluciones posibles, es decir, la que más se adapte a los requisitos. Hay que ajustar el flujo de tareas, entradas y salidas para conseguir la mejor calidad, en el menor tiempo y el menor costo.

*Los datos y su relación entre sí dentro de la Base de Datos de decisión de la cadena de suministro sirven como entrada para el modelo de optimización al cual los integra para analizar un problema dado de decisión mediante la búsqueda de una solución óptima de acuerdo con ciertas preferencias (Jeremy F. Shapiro. (2006). Modeling the Supply Chain Management. Second Edition. U.S.A: Massachusetts Institute of Technology.).*

También hay que tener en cuenta:

- . Los **factores internos**, son aquellas decisiones que hay que determinar para perfeccionar un proceso teniendo en cuenta las siguientes variables: calidad, costo, tiempo y flexibilidad.
- . Los **factores externos**, son aquellos que provienen del entorno, que pueden ser predecibles hasta cierto punto, pero hay que tenerlos en cuenta y controlados lo máximo posible.

## **2.3 Comparativa entre la simulación y la optimización**

### **2.3.1 Características comunes**

- . Se pueden utilizar y alcanzar tanto en grandes problemas con muchas

variables como en pequeños problemas con pocas variables. No están limitados a un tipo de problema concreto.

- . Consiguen dar respuestas exactas o lo más cercanas a lo óptimo.
- . Su base son modelos reales.
- . Aceptan varios tipos de planteamiento: lineales, no lineales, probabilísticos, aleatorios e inexactos.
- . Se basan en planteamientos lógicos y matemáticos.
- . Precisan de técnicas específicas
- . Permiten estudios de escenarios con condiciones

### **2.3.2 Simulación vs Optimización**

<b>Simulación</b>	<b>Optimización</b>
<b>Marco de tiempo</b>	
Simula el comportamiento de un modelo real a través del tiempo, es decir, estudia un modelo en	En un momento específico ofrece la mejor solución para el modelo que se plantea, es decir,

repetidas ocasiones y con los resultados hace una media con las métricas	habitualmente es un análisis estático
<b>Rigidez de los modelos</b>	
Durante la simulación del modelo se puede ver qué es impracticable o contradictorio	Si no se encuentran respuestas óptimas en el modelo que se está estudiando no habrá ningún resultado
<b>Posibilidad de análisis futuro</b>	
Nos permite a largo plazo mejorar las ineficiencias y cuellos de botellas que vayan apareciendo	No permite ver más allá del tiempo, es decir, encuentra la mejor forma de hacer las cosas de ese modelo, en ese momento. No tiene en cuenta el futuro
<b>Perspectiva del análisis</b>	
Perspectiva secuencial del proceso: las pautas utilizadas para construir la simulación describen el proceso, pero no hace que los	Perspectiva global: desde el principio se tiene en cuenta todos los requerimientos y restricciones del modelo y el objetivo es

resultados sean los óptimos	encontrar la mejor solución considerando requisitos, libertades y probabilidades
<b>Capacidad de trabajar con incertidumbre</b>	
Permite a largo plazo saber qué pasará con el modelo que se ejecuta con incertidumbre, debido al planteamiento repetitivo y resultados promedios	Con agregar variables de incertidumbre lo que se conseguirá seguramente será obtener resultados alejados de la solución óptima

### **2.3.3 Herramientas de Simulación y Optimización**

- **Promodel:**

Software de simulación y optimización para cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, ensamble, balanceo de líneas, justificación de capital, manejo de materiales, entre otras aplicaciones. No requiere programación, aunque sí lo permite.

El módulo de optimización nos ayuda a encontrar rápidamente la solución óptima, en lugar de solamente hacer prueba y error.

- **ServiceModel:**

Software de simulación y optimización para sistemas de servicio de todo tipo, de diferentes complejidades y tamaños.

Provee la perfecta combinación entre facilidad de uso y completa

flexibilidad para modelar cualquier situación. Las capacidades de animación del Software ServiceModel permiten que la simulación cobre vida.

Desarrollada para Sistemas Windows. Requiere una breve orientación y básicamente no requiere habilidades de programación. Es intuitiva gracias al uso de constructores e interfaces gráficas que guían el proceso de construcción del modelo. Hay que definir el sistema a través de diagramas de flujo. Para ejecutar la simulación no deben de aparecer advertencias de errores o inconsistencias. Durante la simulación aparece una representación animada y al terminar la misma se crea un informe que permite analizar los resultados y la representación gráfica de las variables mostrando la utilización de los recursos, productividades, servicios, etc.

. **MedModel:**

Software de simulación y optimización de los recursos e instalaciones de hospitales, clínicas y procedimientos de trabajo en ambiente de hospitales.

Sirve para probar las ideas antes de realizar los cambios funcionales en el sistema real.

Permite encontrar numerosas maneras de disminuir costes y utilizar eficazmente la utilización de los recursos y el personal.

. **Stat fit:**

Software que permite estudiar y definir el tipo de distribución de probabilidad de un conjunto de datos de entrada y salida, para ajuste de curvas y análisis estadístico.

Compara los resultados entre varias distribuciones examinadas a

través de una valoración.

- **Arena Standard Edition:**

Software para simular sistemas complejos, tareas y procesos en el área de los servicios, la fabricación, el transporte, la logística y la cadena de suministro, etc.

# Capítulo 3

## Objetivos

El objetivo fundamental que se persigue con la realización de este proyecto es diseñar, implementar y validar un modelo de distribución de mercancía de la web de Mercadona en las islas de Tenerife y Gran Canaria, destinado a la evaluación del rendimiento de redes de transporte de mercancías.

En la isla de Tenerife hay 35 supermercados y hay que optimizar que la flota a enviar sea la mínima posible, porque no es factible 4 camiones todos los días de lunes a sábado por supermercado, es decir, una flota de 140 camiones. Esto es una gran inversión que tiene que realizar la empresa y es impracticable, teniendo en cuenta además, que no siempre hacen falta los 4 camiones para cada supermercado.

Para Gran Canaria, la flota sería de 45 camiones, 3 por supermercado, porque hay un total de 15, pero, aunque sean muchos menos supermercados, en este caso hay que añadir el costo diario del billete de barco para poder hacer la distribución. Por lo tanto, al disminuir el número de camiones, se reducirán los gastos.

La meta es que con el mínimo número de camiones, tanto en Tenerife como en Gran Canaria, se dé servicio a todas las demandas de pedido, consiguiendo calcular la flota óptima para la realización de la distribución de la mercancía.



# Capítulo 4

## Problemática

Lo que se desea realizar con esta simulación es distribuir la mercancía de los supermercados de Mercadona situados tanto en Tenerife como en Gran Canaria, pero no teniendo que mandar a cada supermercado siempre el máximo número de camiones que le correspondería, sino mandar sólo los indispensables según el pedido realizado.

En el caso de Tenerife a cada supermercado se le debería mandar siempre 4 camiones y a Gran Canaria 3. Esto no es viable, pues obligaría a disponer de una cantidad de camiones que estarían la mayor parte del tiempo parados.

Por esta razón, con la simulación se quiere optimizar la flota de camiones disponibles para ser enviados a los supermercados en base a la demanda. A Tenerife entre 0 y 4 y a Gran Canaria entre 0 y 3.

Hay que asumir, tanto para el modelo de Tenerife como para el modelo de Gran Canaria:

- La disponibilidad de un depósito de mercancías, que es el mismo para las dos islas, encontrándose éste ubicado en Granadilla de Abona (Tenerife) y siendo el punto de partida y de llegada en la simulación.

- . Flota de vehículos terrestres (camiones) para realizar el reparto, diferenciados en dos flotas, una para los supermercados de Tenerife y otra para los de Gran Canaria.
- . Vehículo marítimo (barco) que necesita la flota de camiones destinados a Gran Canaria para poder cumplir su objetivo todos los días de distribución (lunes a sábado).
- . Para cada supermercado, dependiendo si es de Tenerife o Gran Canaria, es necesario, en la actualidad, el envío de 3 ó 4 camiones:
  - 1 camión frigorífico para productos congelados y pescadería.
  - 1 camión para mercancía perecedera.
  - 1 o 2 camiones para el resto de productos.
- . Al tener 50 supermercados entre las dos islas, la central ha de disponer de una flota de 185 vehículos para atender la demanda.
- . Se experimenta con la realización de pedidos por parte de las sucursales variando éstos entre 0 y 4 (Tenerife) y 0 y 3 (Gran Canaria), averiguando la flota óptima. De esta manera, la empresa tiene los camiones que necesita en todo momento repartiendo, consiguiendo mantener el mínimo de ellos parados y no es necesario disponer del número máximo de camiones por supermercado para realizar la distribución.

Hacer la distribución de mercancía en la isla de Tenerife se lleva a cabo sin ningún problema, dentro del nivel de dificultad que implica el manejo, por primera vez, de herramientas de terceros:

1. Los camiones salen de la central.
2. Distribuyen mercancía solicitada por cada supermercado el día anterior.
3. Los camiones regresan a la central.

Las dificultades surgen en la resolución de la distribución a la isla de Gran Canaria porque, para hacer el reparto, hay que tener en cuenta varios factores, los cuales se enumeran a continuación:

1. Los camiones destinados a Gran Canaria tienen que salir de Granadilla de Abona hacia el Puerto de Santa Cruz de Tenerife y llegar a su destino antes de que salga el barco.
2. El barco sale de Tenerife a las 8:00 y de Agaete a las 20:00, todos los días de lunes a sábado, sin poder dejar ningún camión atrás.
3. El barco de Tenerife no se puede mover antes de que lleguen los camiones de la Central y en el caso de Gran Canaria antes de que terminen el reparto en los supermercados.
4. Cuando los camiones están en los puertos deben de subir al barco y sólo éste se ha de ver moviéndose.
5. Cuando los camiones llegan al Puerto de Gran Canaria, empiezan a repartir, cuando terminan vuelven al puerto de Agaete esperando la hora de que salga el barco para volver al puerto de Santa Cruz de Tenerife y, desde allí, a Granadilla de Abona y así concluir la jornada laboral.



# Capítulo 5

## Desarrollo del proyecto

### 5.1 AnyLogic

#### 5.1.1 Definición

De las herramientas mencionadas en el apartado 2.3.3 , se ha elegido AnyLogic porque es una de las mejores herramientas de simulación actuales, disponiendo de todas las características de aquellas y alguna adicional, como simulador de movimiento. Apropiaada para todos los sistemas de negocio, económicos y sociales de hoy en día, porque permite captar la complejidad y la heterogeneidad del modelo que se esté simulando.

Con este software, casi todos los campos de aplicación de la empresa pueden ser representados a cualquier nivel de detalle deseado.

#### 5.1.2 Características

- Entorno libre de riesgos, es una manera segura de probar y explotar distintas circunstancias, antes de llevar el modelo a la práctica en un escenario real.
- Reducción de los costos y el tiempo de desarrollo de supuestos. Es menos costoso que con activos verdaderos.
- Permite diseñar diferentes modelos con una sola herramienta.
- Animaciones sencillas de utilizar, facilitando que los conceptos y las

ideas sean más rápidamente confirmadas y entendidas.

- . Funciona con Windows, Linux y Mac.
- . Lenguaje de programación Java.
- . Utilidades como diagrama de barras y sectores e histogramas
- . Los resultados y el tiempo de las ejecuciones en las simulaciones permite medir el riesgo y hallar mejores soluciones.
- . Un modelo de simulación aporta una mayor precisión y un pronóstico más exacto que un modelo analítico.

### **5.1.3 Industrias en las que se utiliza**

- . Cadenas de suministro
- . Fabricación
- . Transporte
- . Cuidado de la salud
- . Terminales de pasajeros
- . Marketing
- . Procesos de negocio
- . Operaciones de almacenes

### **5.1.4 Entorno de trabajo**

Cuando abrimos la aplicación aparece la ventana que se muestra en la figura 5.1

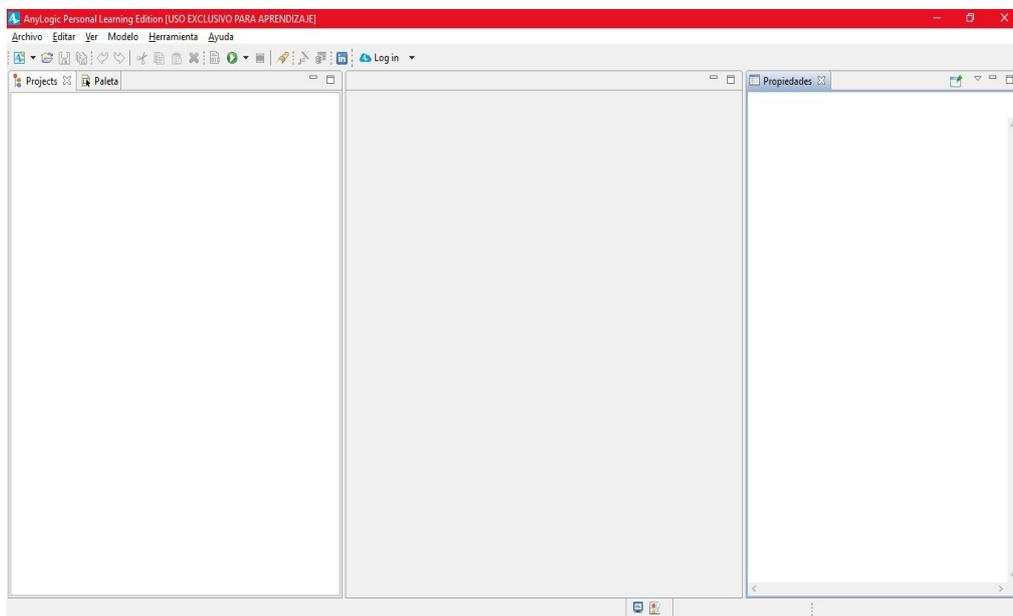


Figura 5.1: Ventana principal de AnyLogic

- Menú en la parte superior con las opciones que aparecen en la figura 5.2 y a la vez cada una de ellas tiene las suyas propias.

---

Archivo Editar Ver Modelo Herramienta Ayuda

Figura 5.2: Menú en la parte superior del AnyLogic

- Barra de herramientas en la parte superior, tal y como se puede ver en la figura 5.3



Figura 5.3: Barra de herramientas en la parte superior del AnyLogic

- Tres paneles:
  - El panel de la izquierda contiene:
    - La lista de proyectos, tal y como se muestra en la figura 5.4

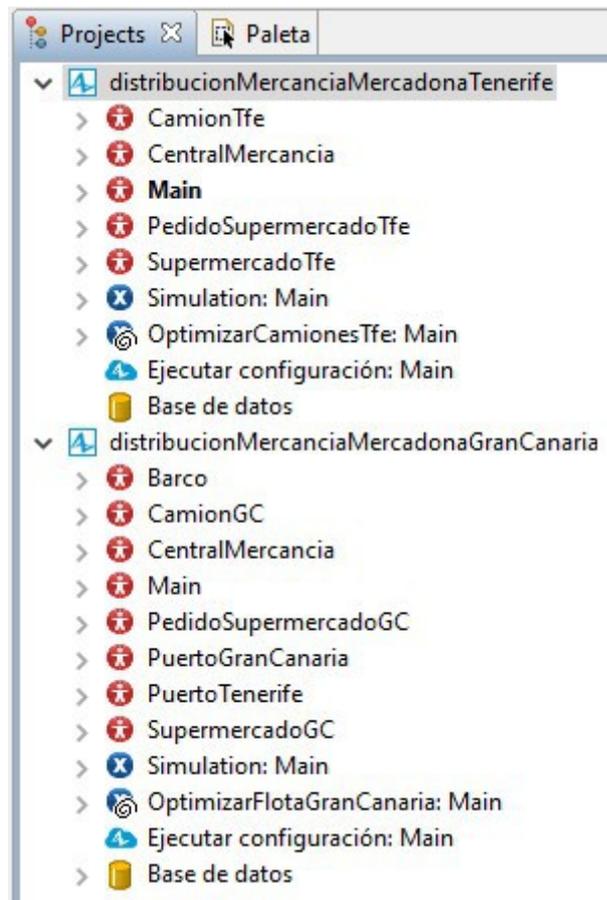


Figura 5.4: Proyectos abiertos en el AnyLogic

- La paleta con todas las posibles bibliotecas que se pueden utilizar, tal y como aparece en la figura 5.5

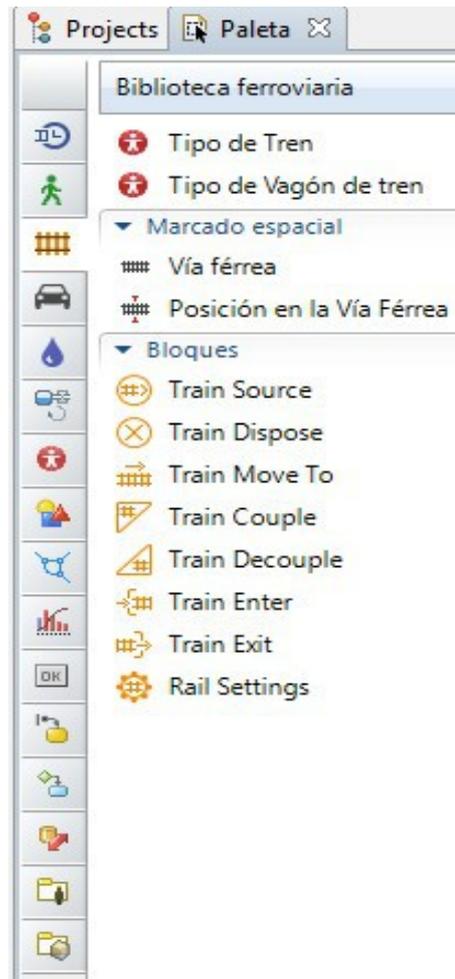


Figura 5.5: Paleta con las bibliotecas

- La ventana central contiene la visualización de los diversos agentes, en este caso el Main, tal y como aparece en la figura 5.6

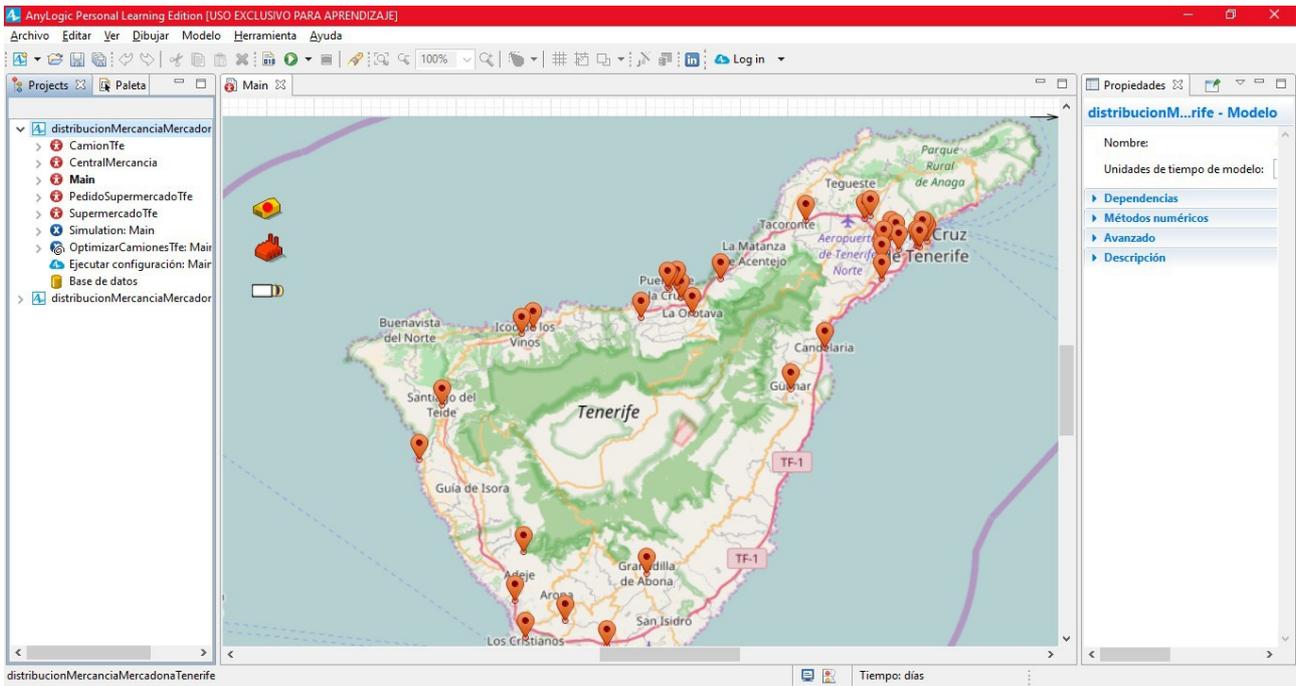


Figura 5.6: Main del Modelo

- o La ventana de la derecha muestra la lista de propiedades del elemento seleccionado. En esta ocasi3n la colecci3n “localizacionSupermercadosTfe” del agente “Main”, tal y como aparece en la figura 5.7

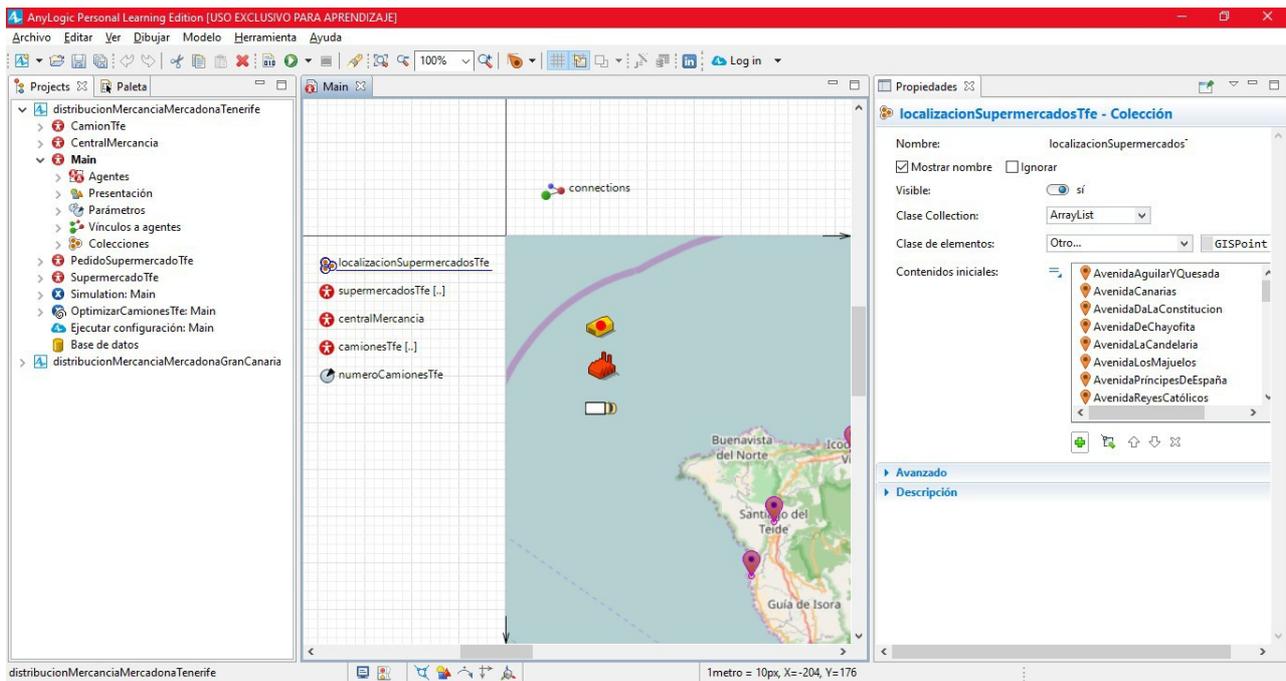


Figura 5.7: Propiedades del elemento "localizacionSupermercadosTfe"

### 5.1.5 Guía general para manejar el AnyLogic

Después de crear un modelo nuevo y darle un nombre, la manera de trabajar es muy simple:

- Se elige del panel izquierdo la pestaña "Paleta" con las diferentes bibliotecas y se va escogiendo los agentes que queremos que aparezcan en nuestro modelo y los vamos arrastrando y soltando en el panel central. De esa manera, el agente se convierte en una clase Java.
- Una vez planteados todos los agentes que van aparecer en el modelo, hay que añadirles comportamiento a través de sus "Propiedades". Éstas aparecen en el panel derecho una vez seleccionado el agente, ya sea en el árbol de proyectos o en el panel central.

Esta sería la dinámica. No hay que esperar a terminar el modelo para ver

los posibles errores o avisos, se puede construir el modelo (F7) o ejecutarlo (F5). Lo más recomendable es hacerlo poco a poco, para ir solventando los problemas lo antes posible y que no salgan todos a la vez.

## 5.2 Modelos a diseñar

Para desarrollar este proyecto, se van a desarrollar dos modelos, uno para Tenerife y otro para Gran Canaria.

Ambos tienen características similares en cuanto a la distribución de camiones, pero el de Gran Canaria cuenta con el agente “barco” y “puertos”, con la dificultad intrínseca que supone su uso y que se describe en el apartado de su Simulación.

Además en los dos modelos se está utilizando múltiples agentes:

- **Tenerife:** central de mercancía, camiones y supermercados
- **Gran Canaria:** central de mercancía, camiones, supermercados, puertos y barco.

### 5.2.1 Simulación de Tenerife

Se crea un proyecto para realizar la distribución de mercancía desde la Central, ubicada en Granadilla de Abona, a los diversos supermercados de la isla de Tenerife.

Para esta simulación, los agentes utilizados son:

- **Agente 1:** “camionesTfe”,  es la flota encargada de realizar el reparto a los  supermercados de Tenerife:
  - Este agente dispone de un parámetro llamándose “paraPedidoSupermercadoTfe” y que contiene el supermercado que realiza el pedido.

- Los camiones salen de lunes a sábado a las 8:00 de la Central.
- **Agente2:** “supermercadosTfe”, a donde se desplaza cada camión  para efectuar su distribución:
  - Aquí hay que añadir un Gráfico de Estados según la figura 5.8 donde comienza el proceso para pedir mercancía y controlar el status de cada pedido realizado.

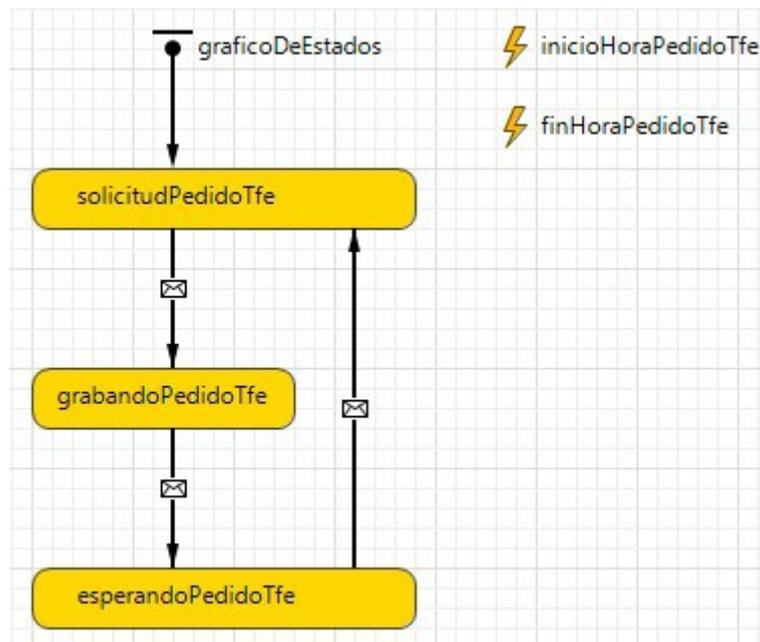


Figura 5.8: Gráfico de Estados de Tenerife

- Las solicitudes de mercancía de todos los supermercados comienzan a las 15:00, por eso se crea un evento para controlar 'inicioHoraPedidoTfe'.
- Se deja una hora de margen para pedir, consiguiendo así que todos los departamentos de cada supermercado puedan hacer su pedido sin problemas.

- Después, a las 16:00 se graba el pedido con el evento “finHoraPedidoTfe”.
- En el estado “esperandoPedidoTfe” se le manda la petición a la Central de Mercancía.
- En el momento que el supermercado solicita un pedido aparece un punto rojo para informar de la solicitud. Cuando el camión realiza el servicio desaparece el punto rojo porque ya el supermercado vuelve a tener stock de mercancía. Aparece nuevamente cuando el supermercado solicita de otro pedido y así continuamente. De esta manera vemos visualmente qué supermercados han hecho y no han hecho pedido y si se ha cumplido la petición.
- Agente3:** “centralMercancia”, es la ubicación física desde donde salen los camiones destinados a los supermercados de Tenerife:
  - Aquí hay que añadir un Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso según la figura 5.9 que es el que resuelve la petición de los supermercados, siempre realizada el día anterior, y envía los camiones de reparto a las 8:00 del día siguiente.

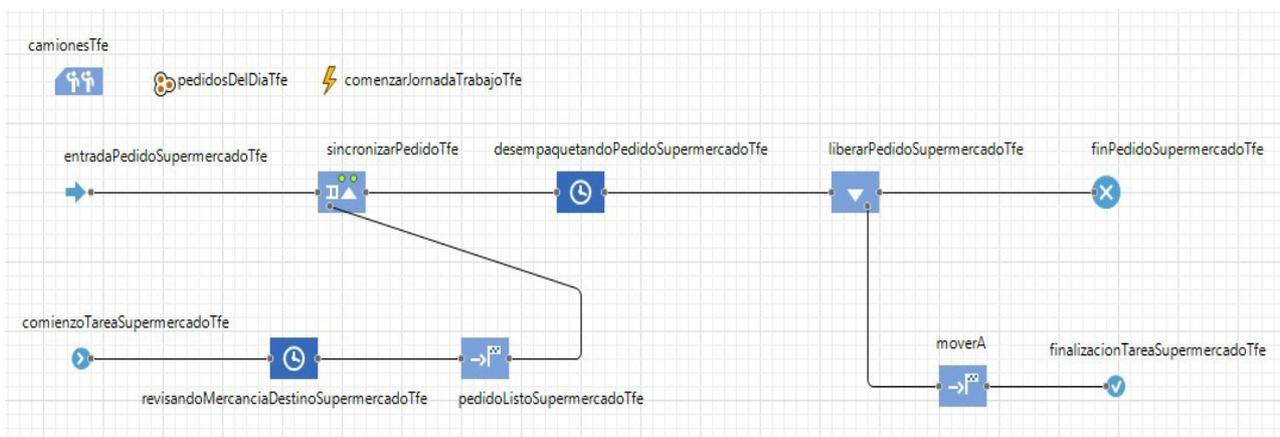


Figura 5.9: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Tenerife

- Para que la Central de Mercancía empiece a preparar los pedidos de los supermercados se realizan los siguientes pasos:

- La clase “SupermercadoTfe” le envía en el estado “esperandoPedidoTfe” la solicitud de un nuevo pedido:  
`send(pedidoTfe,main.centralMercancia)`

pedido que ha creado previamente mediante:

```
PedidoSupermercadoTfe pedidoTfe = new PedidoSupermercadoTfe(this);
```

- En la clase CentralMercancia:



- : Se necesita que se preparen todos los pedidos que se solicitan de los diferentes supermercados, para ello se hace una colección que es un ArrayList de “PedidoSupermercadoTfe” para gestionarlos, llamándose “pedidosDelDiaTfe”



- : Las conexiones de la clase “CentralMercancia” capturan el mensaje que es de tipo “PedidoSupermercadoTfe” y el mensaje recibido es añadido al ArrayList del apartado previo:

```
pedidosDelDiaTfe.add(msg);
```



- : Añadir “comenzarJornadaTrabajoTfe”, que es un evento para que la jornada de trabajo comience a las 8:00. Se encarga de la utilización de los elementos del ArrayList del apartado anterior y de entregárselos al componente “entradaPedidoSupermercadoTfe” mediante un bucle:

```
while (pedidosDelDiaTfe.size() > 0) {
    entradaPedidoSupermercadoTfe.
```

```
take(pedidosDelDiaTfe.remove(0));
```

```
}
```



▪ : Después añadir el componente “Resource Pool” llamándose “CamionesTfe” y que es el que se utiliza como Relación de Recursos de Transporte en la petición de los supermercados:

- Para este recurso se utiliza todos los camiones que se disponen en la flota destinada a Tenerife: 140. Siendo siempre 3 los que llevan la mercancía a cada supermercado.
- La velocidad máxima de cada camión será de 80 km/hora.
- Uso una población personalizada que es el agente “CamionTfe”.



▪ : Ahora para comenzar la preparación de los pedidos lo primero es poner un componente “Enter” al que se denomina “entradaPedidoSupermercadoTfe” y que va a ser la forma de comenzar a usar el método take lanzado desde “comenzarJornadaTrabajoTfe”.



▪ : Se va a encargar de su reparto, usando el componente “Seize”, llamándose “sincronizarPedidoTfe” y que tiene como entradas: “entradaPedidoSupermercadoTfe” para los pedidos y “pedidoListoSupermercadoTfe” para los camiones. Este componente es el que hace que en la simulación los camiones vayan hacia los supermercados que han solicitado mercancía.

- : El enlace de los camiones con el pedido del componente



anterior, necesita de un recurso, en este caso el camión, que se enlazará al pedido mediante el componente anterior. Para preparar este recurso, añadir un componente “Resource Task Start”, al que se denomina “comienzoTareaSupermercadoTfe”, para empezar la preparación del recurso.



■ : Al “comienzoTareaSupermercadoTfe” se le conecta el componente “Delay” “revisandoMercanciaDestinoSupermercadoTfe” para verificar que el pedido preparado el día anterior está correcto, antes de salir los camiones a repartir la mercancía.



■ : Cuando el pedido está listo para repartirlo, conectar a “revisandoMercanciaDestinoSupermercadoTfe” el componente “Move To” llamándose “pedidoListoSupermercadoTfe” y que va a ser el que le indique a los camiones a qué supermercado han de ir.



■ : Cuando el camión llega a destino, es decir, al supermercado, usar el componente “Delay” al que se denomina “desempaquetandoPedidoSupermercadoTfe” con un retardo de 2 o 3 horas, que es un tiempo suficiente para revisar lo que se les manda de la Central de Mercancía. A continuación se le envía a la clase “PedidoSupermercadoTfe” un mensaje diciéndole que ya se entregó la mercancía. La entrada de este componente es la salida de “sincronizarPedidoTfe”.



■ : Ahora conectar “desempaquetandoPedidoSupermercadoTfe” con el componente “Release” “liberarPedidoSupermercadoTfe” con el cual se libera

el agente “PedidoSupermercadoTfe”.



▪ : Para finalizar el proceso definitivamente, conectar a “liberarPedidoSupermercadoTfe” el componente “Sink” llamándose “finPedidoSupermercadoTfe”. Terminando así el proceso de entrega de mercancía.



▪ : Después de la entrega del pedido en el supermercado correspondiente, para que los camiones vuelvan a la Central se conecta “liberarPedidoSupermercadoTfe” con el componente “Move To” llamándose “moverA”, en el cual se indica el lugar a donde dirigirse, en este caso, la Central de Mercancía.



▪ : Por último, hay que finalizar el recurso que se comenzó y, para ello, conectar “moverA” con el componente “Resource Task End” llamándose “finalizacionTareaSupermercadoTfe” que es el que libera a los camiones. Dando así por concluido el Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso que es el que define la demanda de mercancía de los supermercados.

- En el Main según la figura 5.10 se ve visualmente lo siguiente:

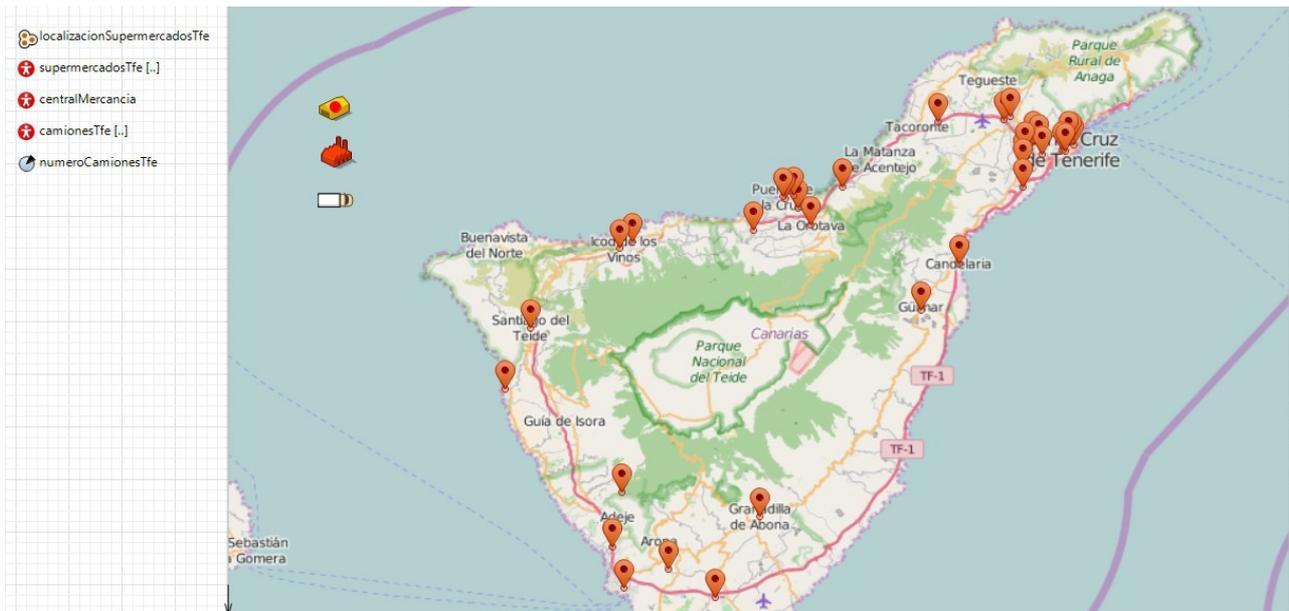


Figura 5.10: Main de Distribución de Mercancía de Tenerife

- Los puntos de coordenadas (latitud y longitud) que hacen referencia a la Central de Mercancía y a los supermercados de Tenerife.
- Las clases necesarias para la simulación:
  - Una población de agentes para crear los “supermercadosTfe[...]”
  - Un agente simple: “centralMercancia”
  - Una población de agentes para crear la flota de camiones
- El parámetro “numeroCamionesTfe” contiene el valor 140, 3 por cada supermercado.
- La colección “localizacionSupermercadosTfe” necesaria para agrupar los supermercados de Tenerife.
- Por último hay que incluir la clase agente de *Sólo Tipo*, es decir sin instanciar, cuyo nombre es “PedidoSupermercadoTfe” y que al cambio es la solicitud de pedido de un supermercado de Tenerife con el

parámetro “paraSupermercadoTfe”.

### **5.2.2 Ejecución de simulación de Tenerife**

El modelo de Tenerife se ejecuta muy parecido al de Gran Canaria, el cual explico detalladamente en el capítulo 5.2.4, pero en esta simulación no hay que tener en cuenta varios puntos:

- . La flota de camiones destinada a los supermercados de Tenerife sale a las 8:00, en vez de a las 7:00 como la flota de Gran Canaria.
- . Aquí no son necesarios el agente “barco”, “puertoTenerife” y “puertoGranCanaria”.
- . El número de camiones está entre 0 y 4.

### **5.2.3 Simulación de Gran Canaria**

En el momento que el proyecto de distribución de Mercancía de los supermercados de la compañía Mercadona de Tenerife funcionó, se crea otro proyecto nuevo para la distribución desde la Central a las peticiones de los supermercados de Gran Canaria.

En este caso, hay que añadir tres nuevos agentes al proyecto: un barco y los puertos de Tenerife y Gran Canaria.

En el “Main” según la figura 5.11 aparece:



Figura 5.11: Main de Distribución de Mercancía de Gran Canaria

- Los puntos de coordenadas (latitud y longitud) en el mapa hacen referencia a los agentes: “centralMercancia”, “puertoGranCanaria”, “puertoTenerife” y “supermercadosGC”.
- Los agentes que se necesitan para hacer esta simulación son los que se definen a continuación:
  - **Agente I:** “barco”, que es  el que hace conexión entre Tenerife y Gran Canaria y viceversa:
    - Para que el barco vaya de Tenerife a Gran Canaria a las 8:00 hay que añadir un evento que se llama “moverBarcoTfeGC”.
    - Para el caso contrario añadir otro evento que se llame “moverBarcoGCTfe” que tiene lugar a las 20:00.
    - Los dos eventos ocurren todos los días.
    - El barco es independiente de si hay o no hay solicitud de supermercados.

- Para que el barco vaya en línea recta entre los puertos hay que añadirle un “GIS route” en el “Main” ya que la ruta estándar de que dispone el mapa pasa siempre por el puerto de Las Palmas y el que se usa es el de Agaete.
- Agente2:** “camionesGC”, los que están asignados desde la Central a los supermercados de Gran Canaria:
  - Necesita de un parámetro llamándose “paraPedidoSupermercadoGC” que indica el destinatario del pedido.
  - La jornada de trabajo de esta flota comienza a las 7:00 en vez de a las 8:00, para que le dé tiempo de llegar al puerto de Tenerife.
- Agente3:** “centralMercancia,” es el mismo punto de partida, para comenzar la simulación, que lo ya explicado en Tenerife:
  - Añadir el Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso según la figura 5.12, que es el que resuelve la petición de los supermercados, en este caso, teniendo en cuenta los nuevos agentes. Este diagrama se divide en tres fases:

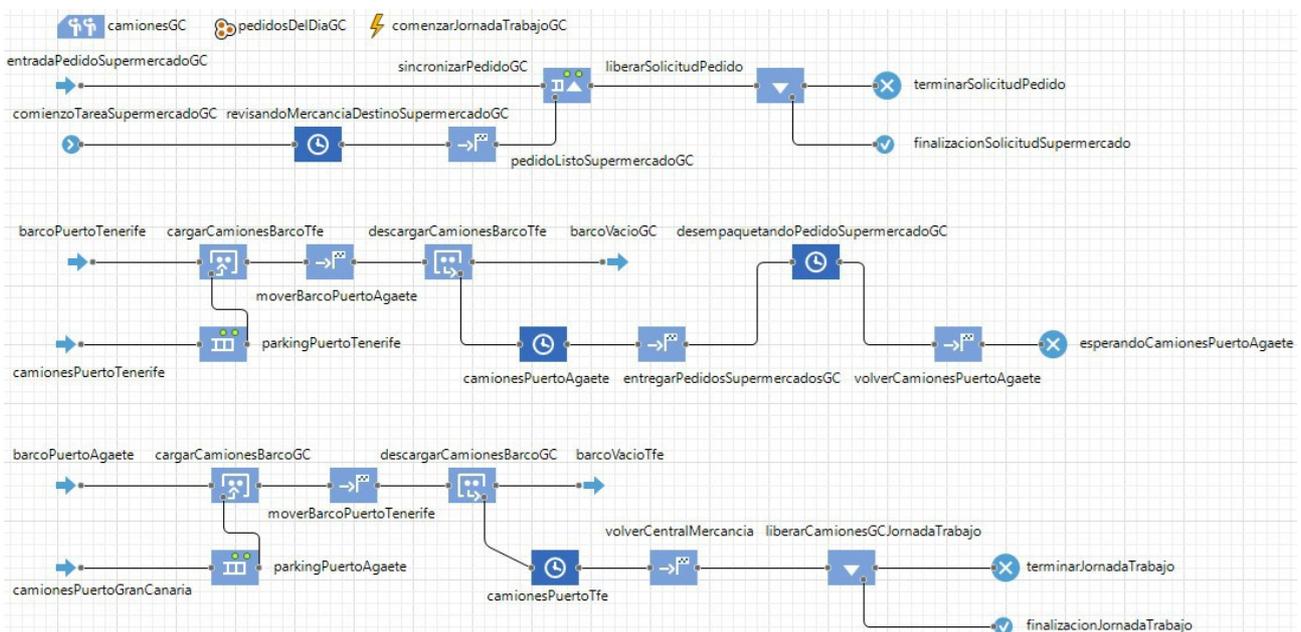
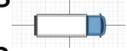


Figura 5.12: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria

- En la primera fase según la figura 5.13 se hace la petición del pedido:

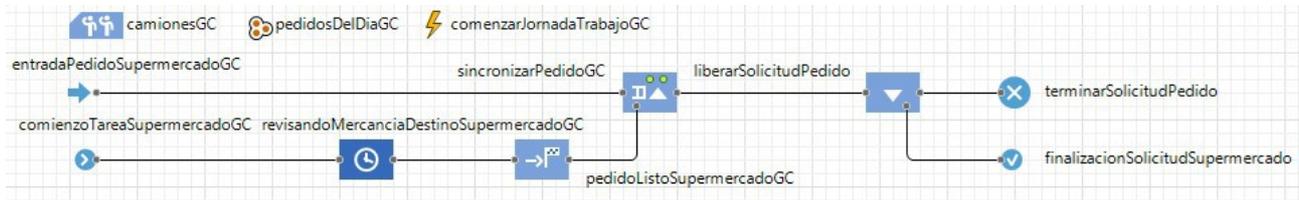


Figura 5.13: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria: Primera Fase

- El inicio del proceso es igual que en Tenerife, pero haciendo referencia a Gran Canaria, en los siguientes componentes:

- “camionesGC”: 
  - Transporte en la petición de los supermercados.
  - Hay 35 supermercados.
  - Flota destinada a Gran Canaria: 35. Siendo siempre 3 los que llevan la mercancía a cada supermercado.
  - La velocidad máxima de cada camión será de 80 km/hora.
  - Agente utilizado “CamionGC”.
- “pedidosDelDiaGC”: 
  - Colección que es un ArrayList de “PedidoSupermercadoGC” para gestionar todos los pedidos a la vez.

- “entradaPedidoSupermercadoGC”: 
  - Es el componente que comienza el proceso.
- “comienzoTareaSupermercadoGC”: 
  - Con este componente se empiezan a preparar los pedidos que han ido llegando.

- 

“revisandoMercanciaDestinoSupermercadoGC”:

  - Se hace antes de que salgan los camiones, debido a que se prepararon el día anterior.

 El evento “comenzarJornadaTrabajoGC”, en vez de empezar a las 8:00, empieza a las 7:00 para que a los camiones les dé tiempo a llegar al Puerto de Tenerife antes de que salga el barco.

 : Empieza a diferir en el componente “Move To” llamándose “pedidoListoSupermercadoGC” el cual está conectado a “revisandoMercanciaDestinoSupermercadoGC” en vez de mandar los camiones a los supermercados, hay que mandarlos al Puerto de Tenerife, porque tienen que coger el barco.

 : El componente “Seize”, llamándose “sincronizarPedidoGC” toma la acción de tomar como entrada los “camionesGC” que van al puerto de Tenerife y los pedidos preparados, transfiriendo la acción a la segunda fase mediante:

camionesPuertoTenerife.

```
take(new CamionGC((CamionGC) unit).
```

```
ParaPedidoSupermercadoGC));
```

y se liberan los recursos ya transferidos.

- En la segunda fase según la figura 5.14, se hace el siguiente proceso:

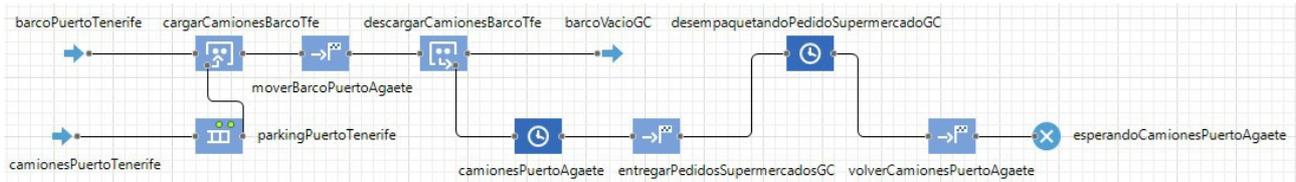


Figura 5.14: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria: Segunda Fase

- Que los camiones se suban al barco. Para que esto ocurra, hay que hacer lo siguiente: el barco usa el componente “Pickup” para cargar los camiones que se encuentran en el Puerto de Santa Cruz en una cola:
- Mover el barco hacia el Puerto de Agaete, esto se hace con el componente “Move To” llamándose “moverBarcoPuertoAgaete”:
- Que cuando lleguen al Puerto de Agaete se bajen los camiones al parking del puerto. Esto se hace con el componente “Dropoff” llamándose “descargarCamionesBarcoTfe”:
- Después dejar el barco en el puerto vacío con el



componente “Exit” llamándose “barcoVacioGC”:

- Para situar los camiones en el Puerto de Agaete con el componente “Delay”, llamándose “camionesPuertoTfe”, usar 1 minuto por cada camión ya que son 45 camiones. 

- Comenzar la entrega de pedidos solicitados, con el componente “Move To” llamándose 

“entregarPedidosSupermercadosGC”:

- Cuando el camión llega al supermercado, hay que descargar la mercancía entre 20 y 30 minutos, esto se hace con el componente “Delay” llamándose “desempaquetandoPedidoSupermercadoGC” y  enviar un mensaje confirmando que se ha hecho la entrega:

- Cuando se termina de hacer el reparto, cada camión vuelve al Puerto de Agaete para esperar a que el barco salga a la hora que le corresponda, en este caso a las 20:00. Esto se hace con el componente “Move To” llamándose “volverCamionesPuertoAgaete” y  aquí tomar como salida los camiones del Puerto de Agaete:

- Un requisito indispensable que no puede quedarse ningún camión atrás.

- En la tercera fase según la figura 5.15:

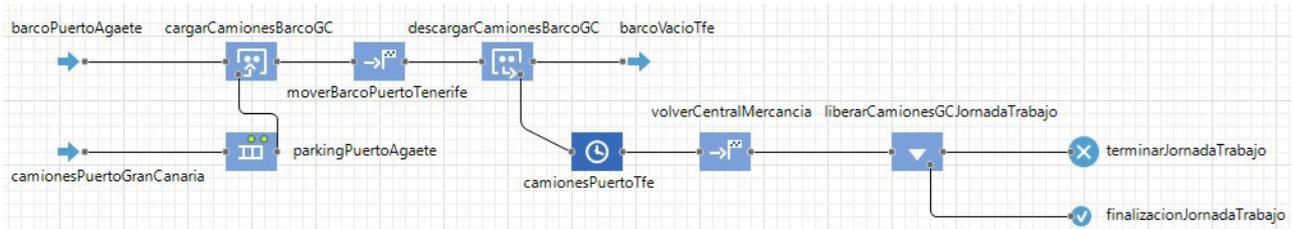


Figura 5.15: Diagrama de Flujo del Modelado del Proceso de Gran Canaria: Tercera Fase

- Hay que hacer que todos camiones se vuelvan a subir al barco. Para ello, el barco carga, con el componente “Pickup”, la cola con todos los  camiones que se encuentran en el parking de Agaete:
- Cuando el barco ya está cargado y se hacen las 20:00 se mueve el barco al Puerto de Tenerife. Esto se hace con el componente “Move To”  llamándose “moverBarcoPuertoTenerife”:
- Cuando llegue el barco al Puerto de Tenerife, descargar los camiones en el parking de Tenerife con el componente “Dropoff”  llamándose “descargarCamionesBarcoGC”:
- Poner el componente “Delay” para que cada camión tarde un  minuto en descargar del barco.
- Volver a la Central porque ya se finaliza la jornada de trabajo. Eso se hace con el componente “Move To”  llamándose “volverCentralMercancia”:
- Después,  hay que liberar los camiones con el componente “Release”:



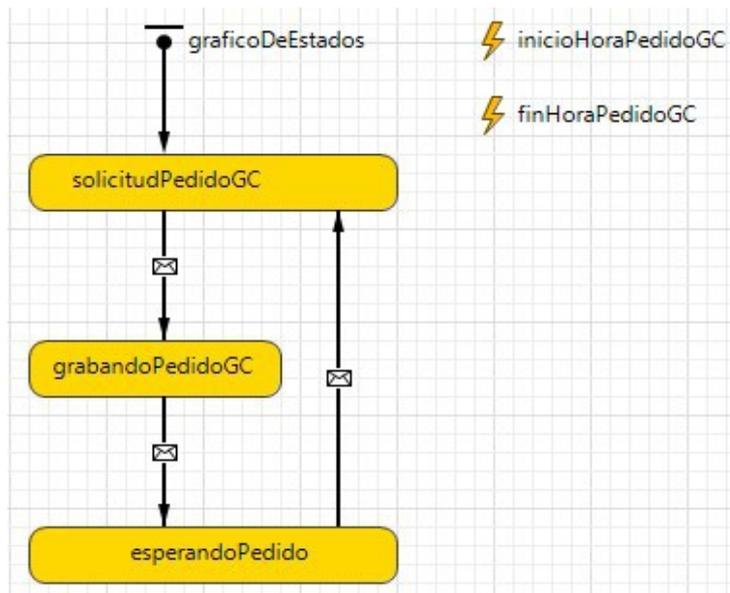


Figura 5.16: Gráfico de Estados de Gran Canaria

- En este modelo, para diferenciarlo del de Tenerife, cuando el supermercado solicita un pedido aparece un punto azul para informar de la “solicitudPedidoGC”.

#### 5.2.4 Ejecución de la simulación de Gran Canaria

Después de desarrollar el modelo de Gran Canaria, si todo va bien y no aparece ningún error, se ejecuta la simulación de la siguiente manera:

- En la pestaña “Projects” se selecciona el proyecto que se quiere ejecutar, en este ejemplo “distribucionMercanciaMercadonaGranCanaria” según la figura 5.17

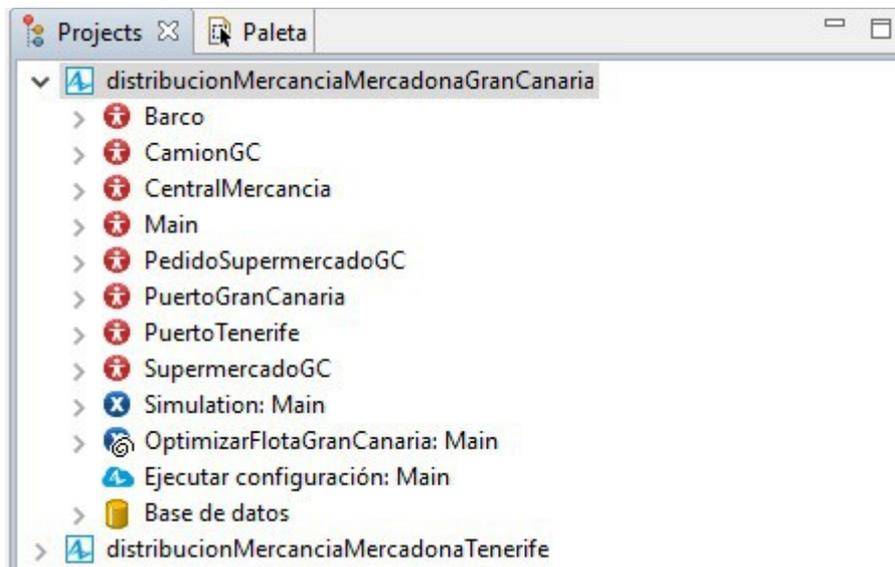


Figura 5.17: Selección de proyecto para simulación

- En la figura 5.18, se pulsa el botón “Ejecutar”  distribucionMercanciaMercadonaGranCanaria”/Simulation(F5)”



Figura 5.18: Barra de Herramientas Superior del AnyLogic

apareciendo la ventana de la figura 5.19:



Figura 5.19: Ventana inicial de Simulación de la Distribución de Mercancía de Mercadona de Gran Canaria

- La parte superior o barra de herramientas contiene los siguientes botones:



- “Ejecutar desde el estado actual”



- “Paso a paso”



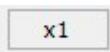
- “Terminar ejecución”



- “Configurar modo de tiempo real a la escala por defecto”



- “Ralentización”



- “Escala de tiempo de modelo a modo real”



- “Acelerar”



- “Alternar entre modo de tiempo real/virtual”



- “Ver experimento”



- “Ver agente de nivel superior”



- “Ver al dueño de este objeto”

- “experimento: DistribucionMercadona: Simulation” en el cual se puede seleccionar un objeto en concreto de la simulación

`experimento: DistribucionMercadona : Simulation`



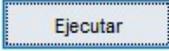
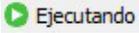
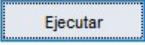
- “Navegar a vista de área”



- “Personalizar barra de herramientas”

- La parte central:

- Aparece el título [Distribución de Mercancía de Mercadona de Gran Canaria](#) elegido para llamar a la simulación

- El botón con el cual comienza la simulación 
- La parte inferior o barra de estado aparece lo siguiente:
  - **Corrida: 4** “Ejecución”
  - “Estado del motor de simulación” 
  - “Tiempo” **Tiempo: 9.92**
  - Tiempo de parada establecido o no establecido”
  - “Fecha” **Fecha: 26-may-2016 23:57:15**
  - “Personalizar barra de estatus” 
  - “Memoria del JVM actualmente usada por el modelo” **Memoria: 179M of 228M**
  - “Ejecutar recolección de basura ahora” 
- Al darle al botón  comienza la simulación en este caso la escala de tiempo de modelo a tiempo real es de “x1/50” viéndose la “raíz:Main”

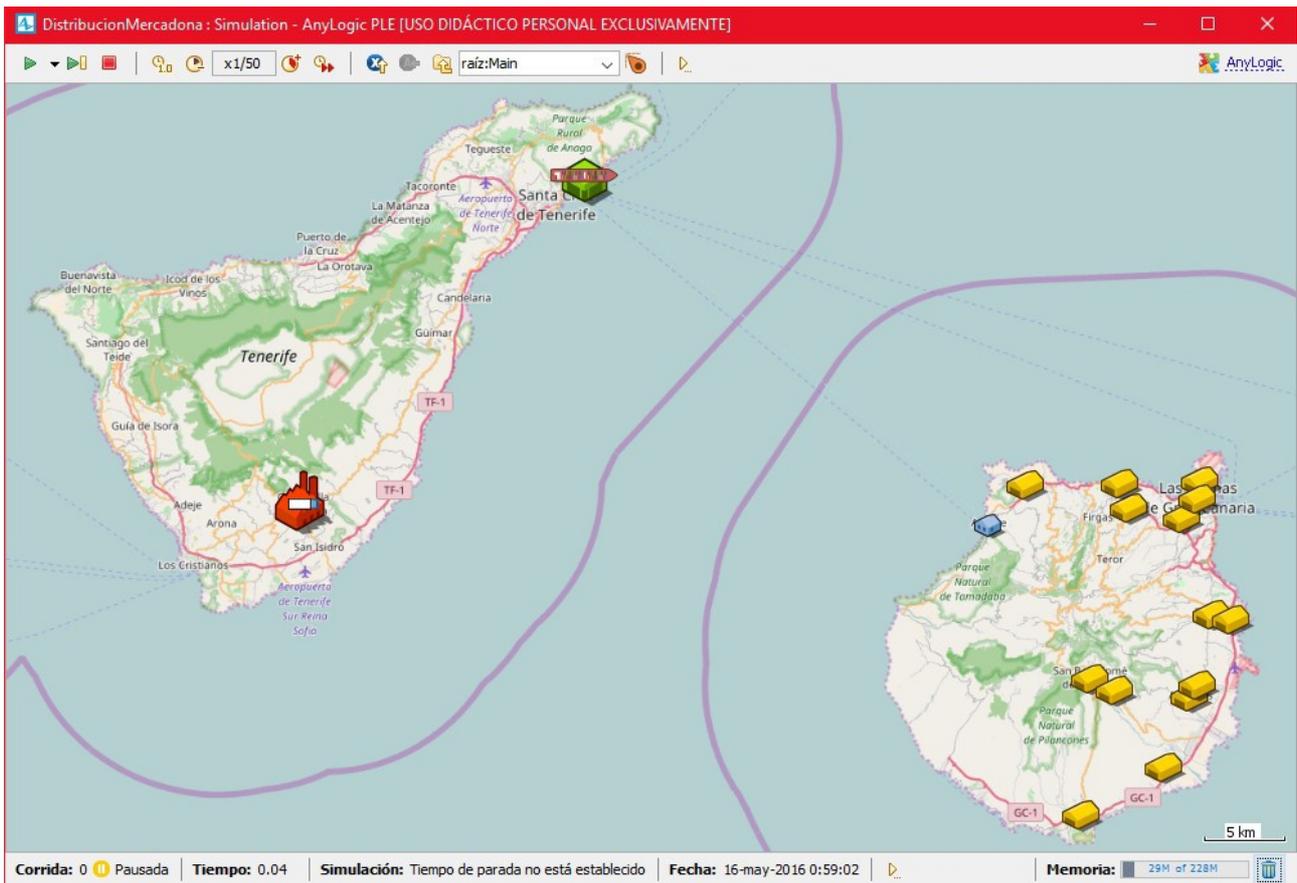


Figura 5.20: Comienzo de simulación de la Distribución de Mercadóna de Mercadona de Gran Canaria

Se observa en la simulación que aparece en la figura 5.20:

- La Central de Mercadóna situada en Granadilla de Abona con la flota de camiones esperando a que sean las 7:00 para comenzar el reparto.
- En el Puerto de Tenerife atracado el barco esperando a que sean las 8:00 para salir hacia el Puerto de Agaete.
- En Gran Canaria está localizado el Puerto de Agaete y los diferentes supermercados de la isla.

- Después de volver a reanudar la simulación se muestra en la figura 5.21:

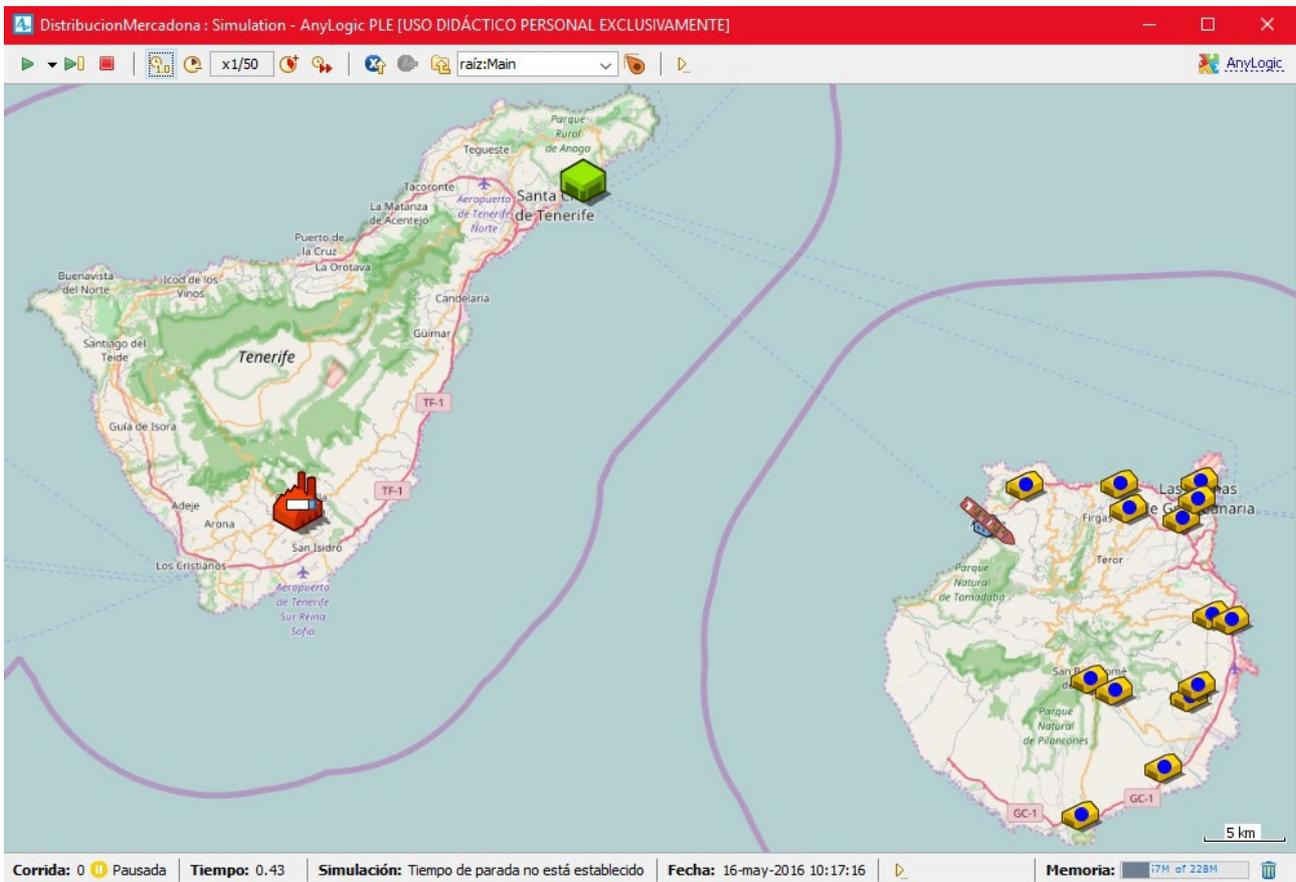


Figura 5.21: Continuación de la Simulación de la Figura anterior

- El barco se ha desplazado a Agaete porque han sido las 8:00 y era su hora de salir del Puerto de Tenerife con destino a Agaete. Volverá a Tenerife cuando sean las 20:00. La primera vez no han embarcado los camiones porque aún no se han hecho pedidos, pero el barco sale tenga o no camiones de Mercadona, haciendo su travesía habitual, no diferenciando si hay o no camiones en el barco.
- Si el supermercado solicita mercancía, aparece un punto azul que indica que está pendiente de recibir el pedido.

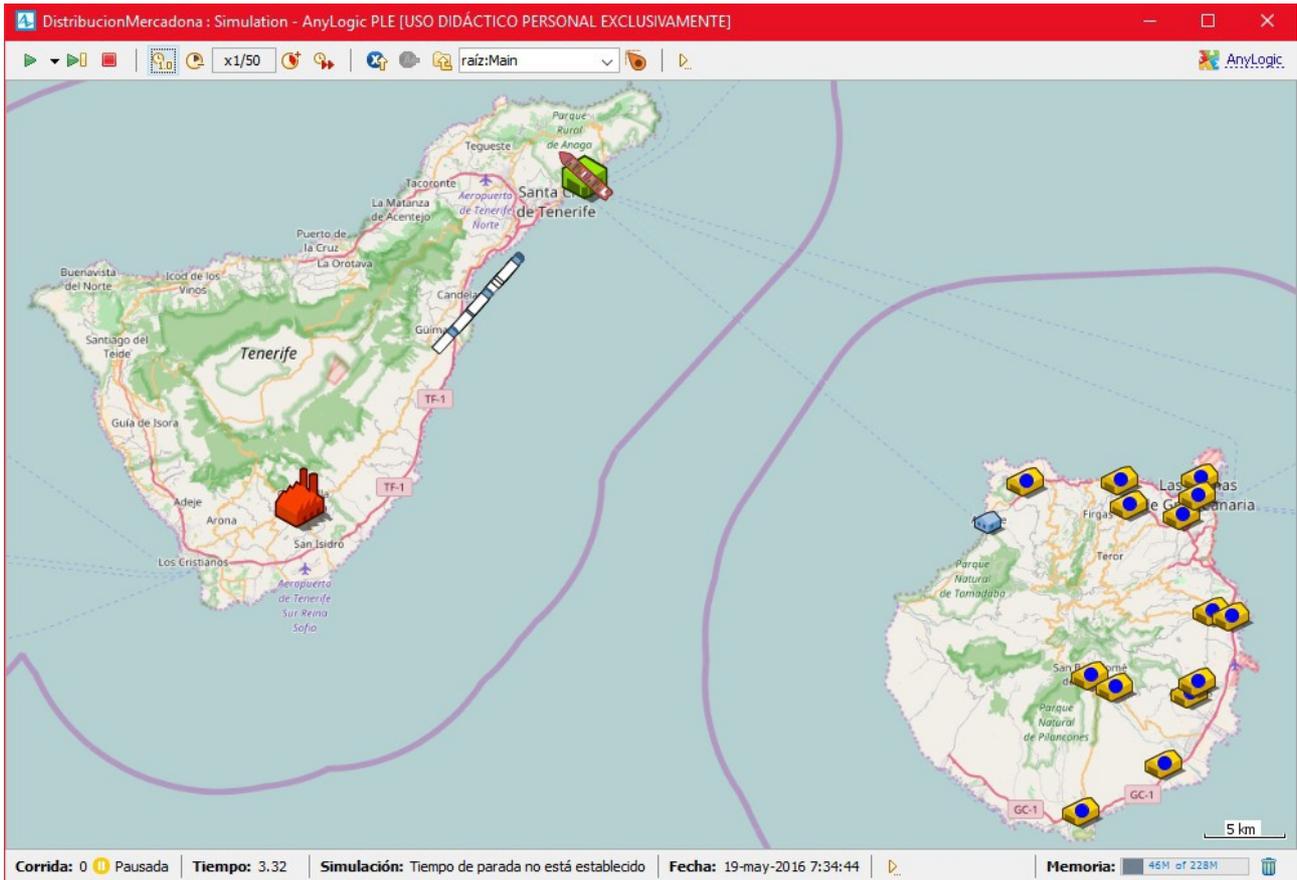


Figura 5.22: Flota de camiones de Gran Canaria para realizar el reparto

- En la figura 5.22 se observa como la flota de camiones destinada a Gran Canaria al hacerse las 7:00 comienza su jornada de trabajo dirigiéndose al Puerto de Tenerife para embarcarse y salir hacia Agaete cuando se hacen las 8:00.

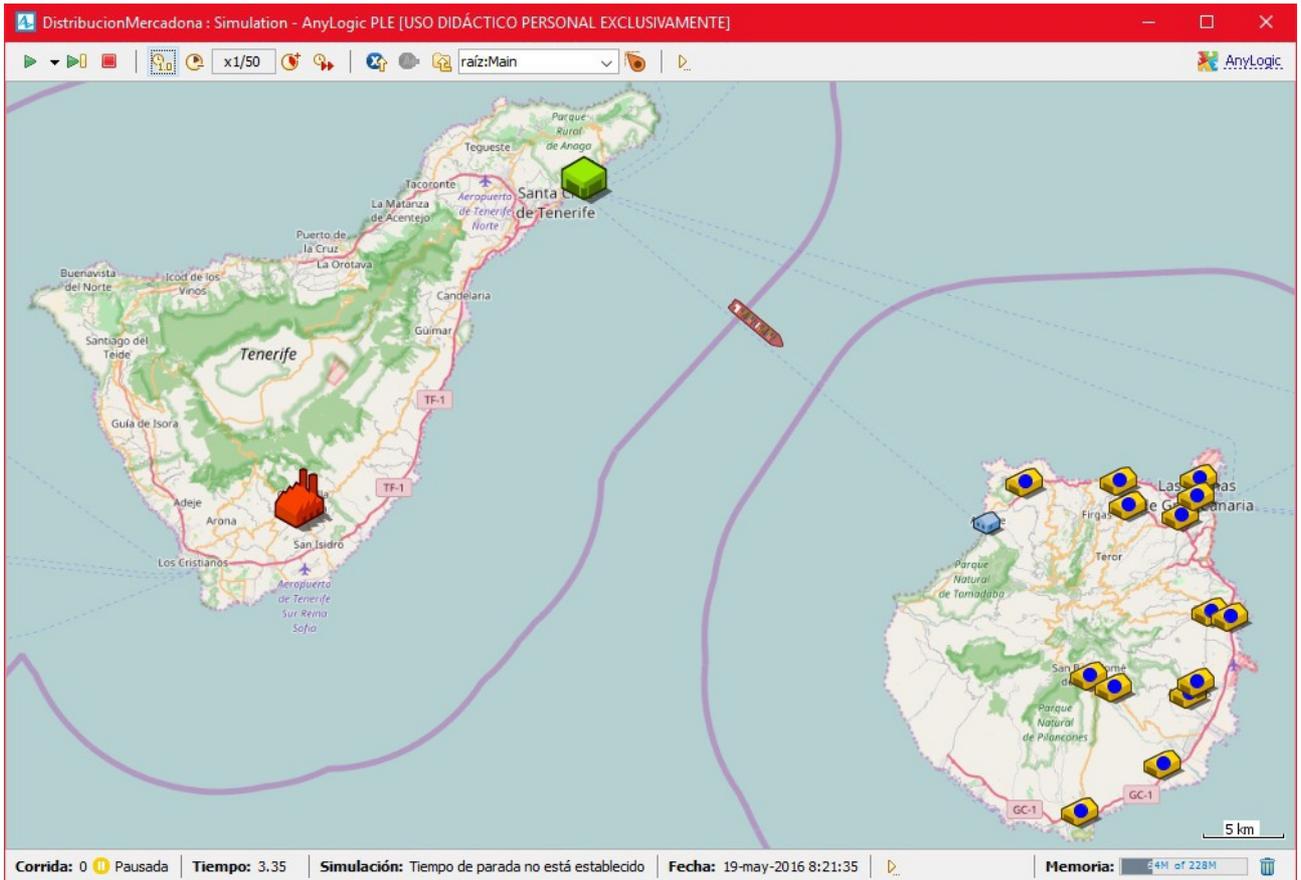


Figura 5.23: Barco con flota de camiones destinados a Gran Canaria

- Una vez la flota de camiones embarca en el barco y se hacen las 8:00 el barco se dirige al Puerto de Agaete, como aparece en la figura 5.23.

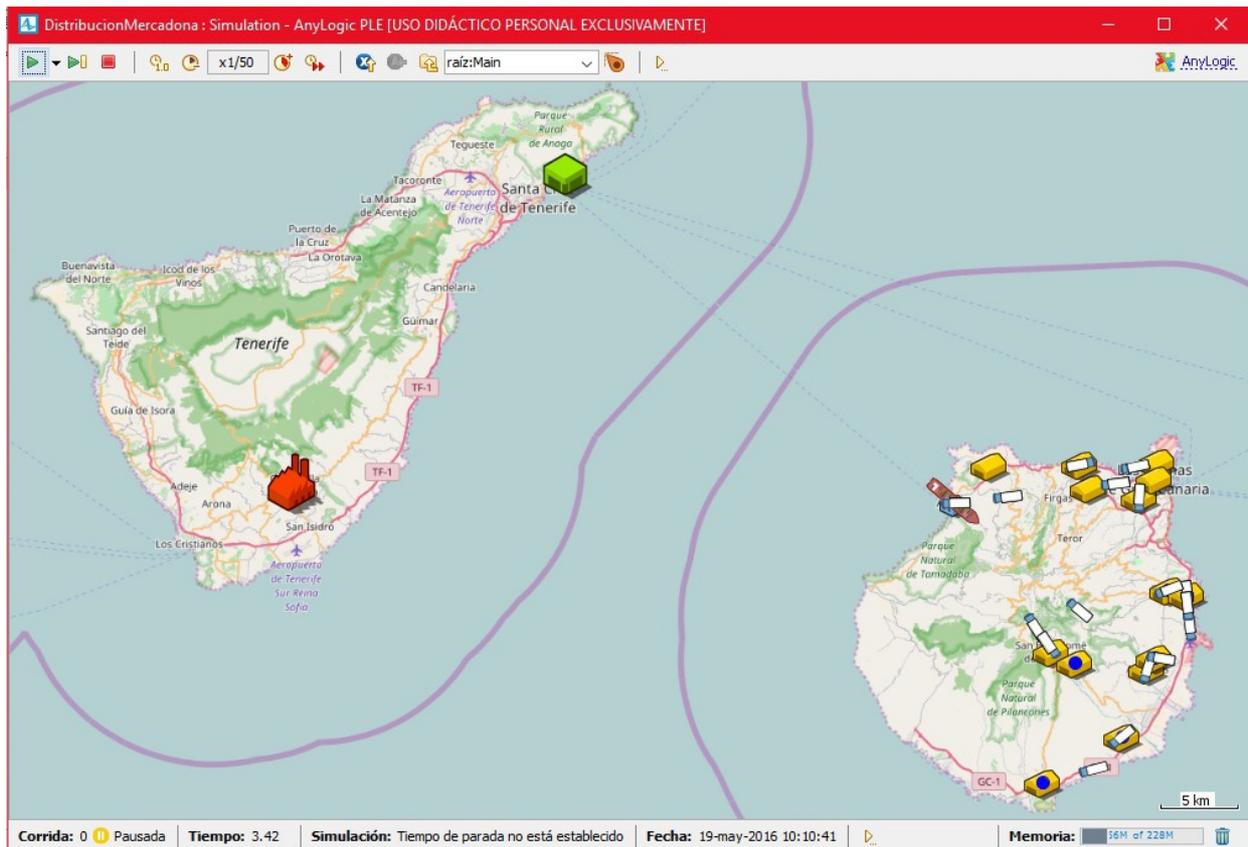


Figura 5.24: Inicio de reparto a los supermercados que han solicitado un pedido

- Al llegar al Puerto de Agaete los camiones se dirigen al supermercado que le corresponda, reparten la mercancía y vuelven al puerto a esperar que el barco salga a las 20:00 para volver a la Central de Mercancía, según la figura 5.24.

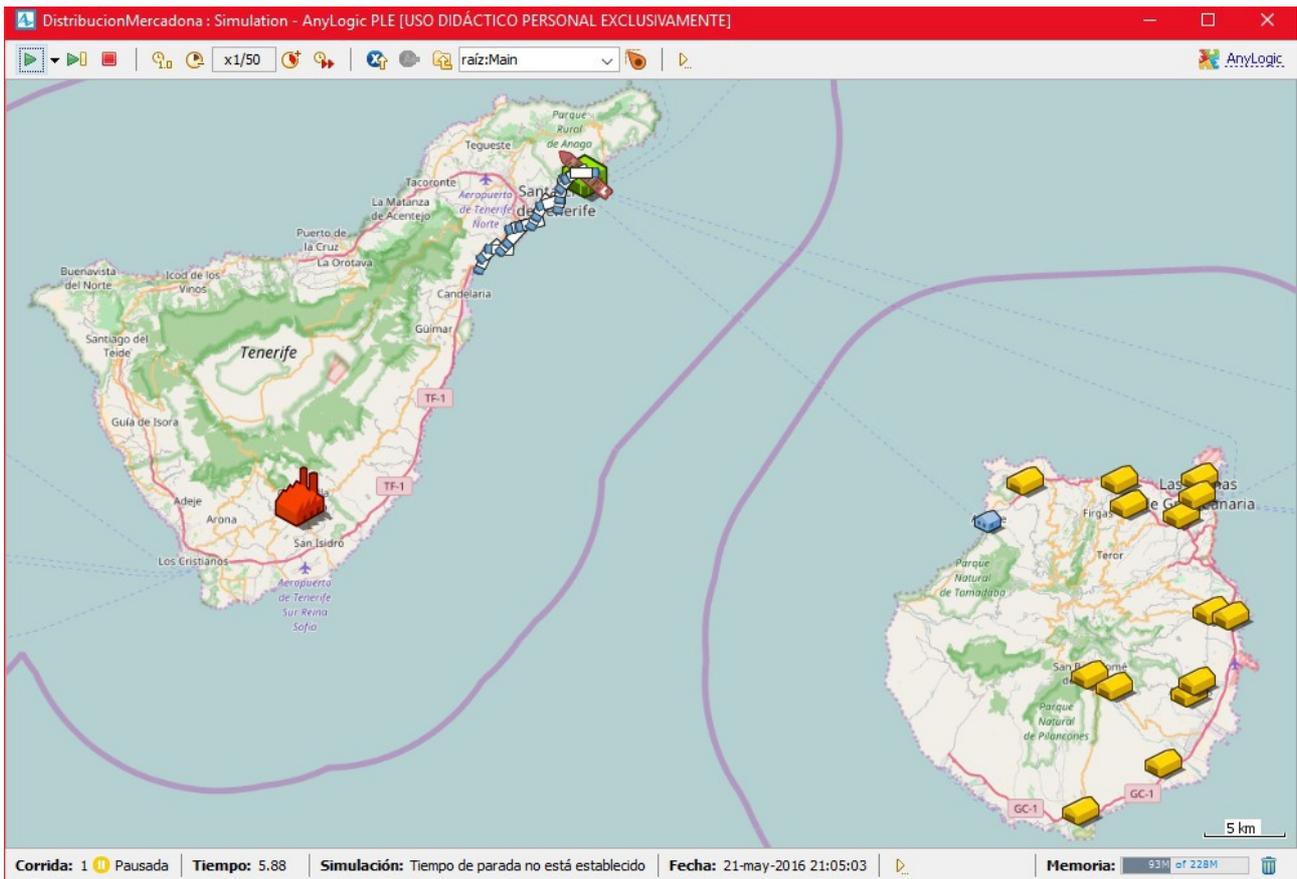


Figura 5.25: Fin de la jornada de trabajo

- Como se observa en la figura 5.25 cuando la flota de camiones llega otra vez la Puerto de Tenerife se dirigen a la Central para así concluir el proceso de distribución de mercancía.

# Capítulo 6

## Optimización

Tras el correcto funcionamiento de las simulaciones, las cuales se han explicado en el capítulo 5.2.2 y 5.2.4 y que es necesario para que el modelo refleje fielmente la realidad, hay que optimizar la flota de camiones, que es el objetivo de este proyecto.

### 6.1 Tenerife

Para optimizar que el número de camiones que hay que enviar a cada supermercado sean sólo los necesarios y no siempre cuatro, realizamos un experimento que permite ver, bajo ciertas restricciones la optimización de este caso.

Para ello, hay que realizar los siguientes pasos:

- En la clase “Main”, añadir 2 parámetros:
  - “numeroCamionesTfe” para controlar el tamaño máximo de la flota de camiones. El valor que se ponga aquí indica la Capacidad del componente “camionesTfe” del agente “CentralMercancia”.
  - “numeroCamionesSuperTfe” para controlar el máximo número de camiones que pueden ir a los supermercados.
- En la clase “PedidoSupermercadoTfe” se añade un parámetro nuevo llamándose “camionesNecesarios” de tipo “int” y con valor por defecto

1.

- En la clase "SupermercadoTfe", en el estado "esperandoPedidoTfe" cuando se hace la instancia del "PedidoSupermercadoTfe", se le pasa al constructor que el número de "camionesNecesarios" debe estar entre 0 y 4:

```
int numCamiones = uniform(0,main.numeroCamionesSuperTfe);  
if (numCamiones > 0) {  
    PedidoSupermercadoTfe pedidoTfe =  
        new PedidoSupermercadoTfe(this, numCamiones);  
    send(pedidoTfe,main.centralMercancia);  
}
```

- En la clase "CentralMercancia", componente "Seize" llamado "sincronizarPedidoTfe", el número de unidades ha de ser leído desde "PedidoSupermercadoTfe", campo "camionesNecesarios" y para ello lo cargo como "agent.camionesNecesarios".
- En la Pestaña "Proyectos", hacer clic para seleccionar el proyecto "distribucionMercanciaMercadonaTenerife":
  - Botón derecho del ratón → Nuevo → Experimento
  - Saldrá una ventana modal "Nuevo experimento"
    - Nombre: OptimizarCamionesTenerife
    - Tipo de Experimento: Optimización
    - Terminar
  - Pestaña "OptimizarCamionesTfe"
    - Propiedades del nuevo experimento:
      - Agente de nivel superior: main

- Objetivo: maximizar
- `root.centralMercancia.camionesTfe.utilization()`  
como función objetivo
- Número de iteraciones: 500
- Pestaña 'Parámetros'
  - 2 parámetros:
    - Parámetro: Camiones Tfe
    - Tipo: discreto
    - Mín: 10
    - Máx: 35
    - Paso: 1

Con esto se indica que se utilicen entre 10 y 35 camiones para este experimento.
  - Parámetro: Camiones Super
  - Tipo: fijo
  - Mín: 6
- Pestaña 'Requerimientos'
  - Botón + (Añadir)
  - Dejar marcado "Habilitado"
  - Expresión:  
`root.centralMercancia.camionesTfe.utilization()`;
  - Tipo: <=

- Límite: 0.8

Con los dos puntos anteriores lo que se quiere indicar es que el número máximo de camiones sea el 80%

- Botón 'Crear UI predeterminado', mostrando inicialmente según la figura 6.1:

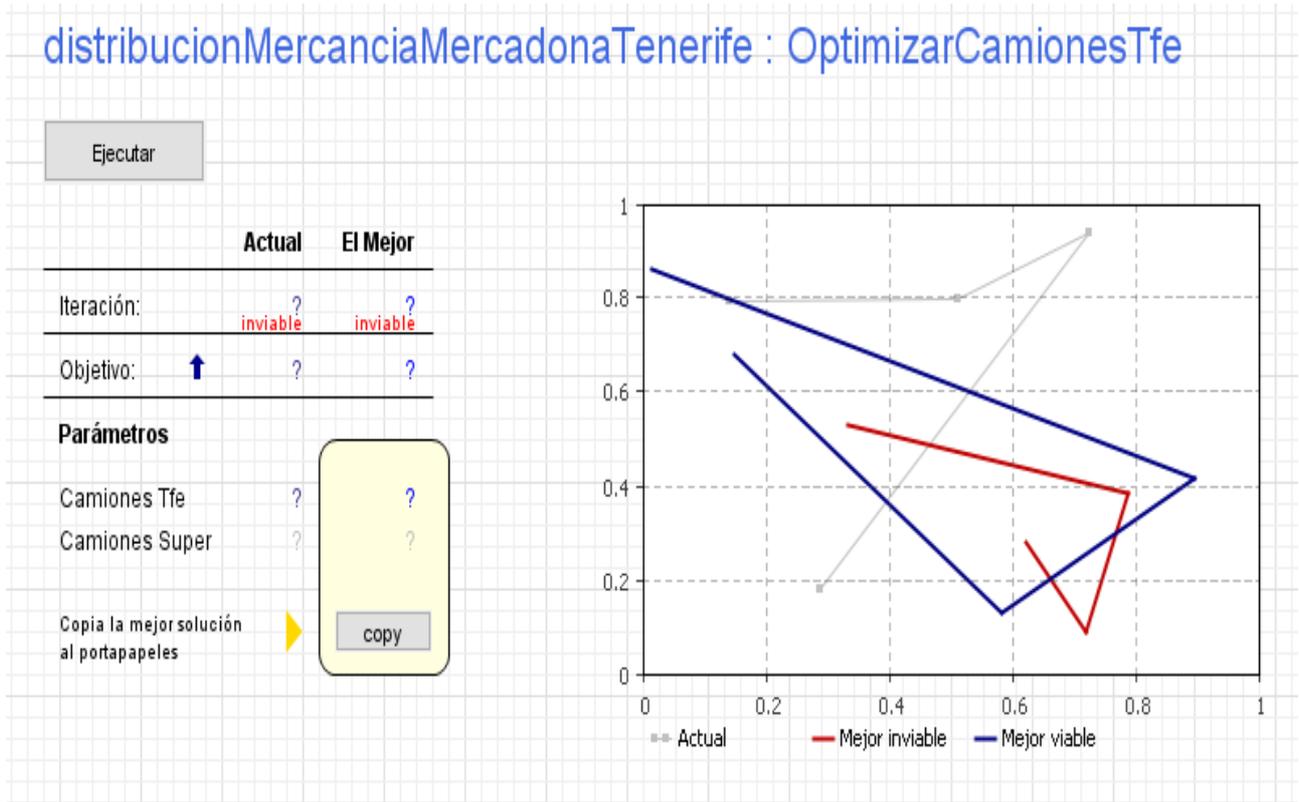


Figura 6.1: Interfaz de usuario inicial

- La línea blanca se corresponde con la iteración actual
  - La línea roja indica las iteraciones inviables
  - En la línea azul están las iteraciones mejores viables
- Ejecutar

distribucionMercanciaMercadonaTenerife/OptimizarCamionesTfe

. Resultado de la ejecución, según la figura 6.2:

### distribucionMercanciaMercadonaTenerife : OptimizarCamionesTfe

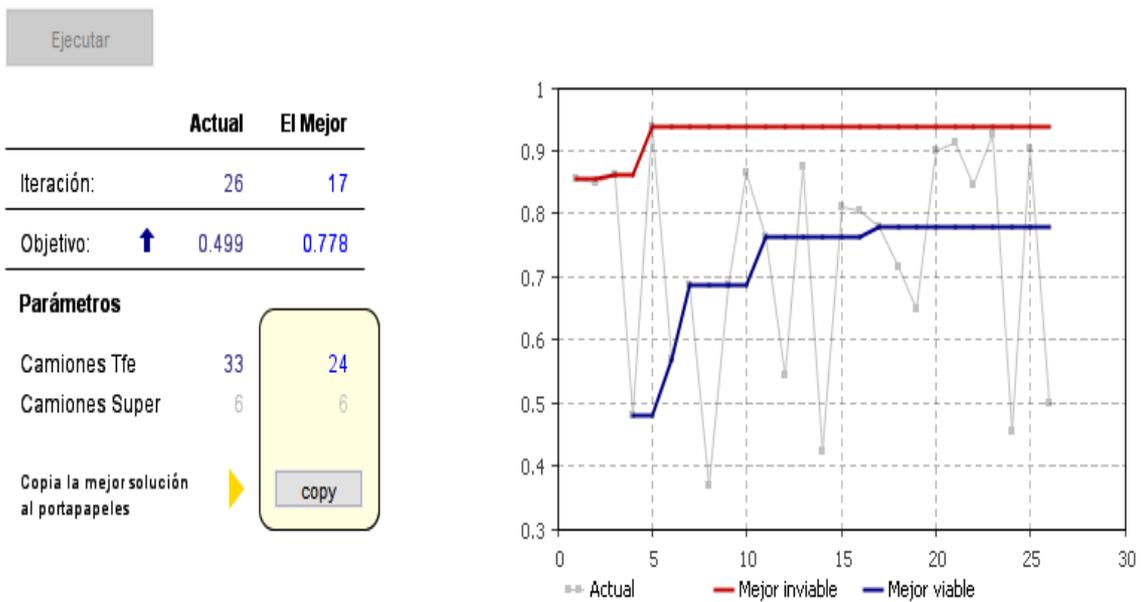


Figura 6.2: Optimización de camiones de Tenerife

- Se han hecho 26 iteraciones. La mejor iteración fue la 17
- La fiabilidad es de un 77,8%
- Se recomiendan 24 camiones

En la Tabla 6.1 se ha distribuido una lista con la cantidad óptima de camiones en base a los que podrían ir a cada supermercado para una flota de entre 10 y 35.

<b>Camiones que van a Supermercado</b>	<b>Flota de Camiones</b>	<b>Camiones Óptimos</b>	<b>Porcentaje</b>
[0,1]	[10,35]	23	0
[0,2]	[10,35]	10	43,4
[0,3]	[10,35]	15	60,2
[0,4]	[10,35]	17	73,1
[0,5]	[10,35]	18	69,6
[0,6]	[10,35]	24	77,8

**Tabla 6.1: Optimización flota de Tenerife**

Los experimentos se realizan para minimizar la flota según unos requisitos indicados y saber cuál es la mejor opción en base a los resultados que van saliendo. La primera columna nos indica el rango de camiones que puede hacer el reparto con una flota total entre 10 y 35 mostrando los camiones óptimos según el porcentaje de uso.

De todos los experimentos ejecutados se observa que la opción mejor es la de la tercera fila por ser la que contempla el 50% posible del máximo número de 6 camiones, aunque sería aconsejable seleccionar la cuarta fila para mantener camiones de reserva.

## **6.2 Gran Canaria**

La optimización de Gran Canaria debe de estar más afinada porque hay que tener en cuenta que deben de coger un barco, por lo tanto, el gasto para la empresa es mayor y deben de enviarse sólo los camiones imprescindibles en todo momento.

Para hacer el experimento de optimización en este proyecto se hacen casi los mismos pasos:

- En la clase “Main”, añadir 2 parámetros:
  - “numeroCamionesGC” para controlar el tamaño máximo de la flota de camiones. El valor que se ponga aquí indica la Capacidad del componente “camionesGC” del agente “CentralMercancia”.
  - “numeroCamionesSuperGC” para controlar el máximo número de camiones que pueden ir a los supermercados.
- En la clase “PedidoSupermercadoGC” se añade un parámetro nuevo llamándose “camionesNecesarios” de tipo “int” y con valor por defecto 1.
- En la clase “SupermercadoGC”, en el estado “esperandoPedidoGC” cuando se hace la instancia del “PedidoSupermercadoGC”, se le pasa al constructor que el número de “camionesNecesarios” debe estar entre 0 y 3:

```
int numCamiones = uniform(0,main.numeroCamionesSuperGC);  
if (numCamiones > 0) {  
    PedidoSupermercadoGC pedidoGC =  
        new PedidoSupermercadoGC(this, numCamiones);  
    send(pedidoGC,main.centralMercancia);  
}
```

- En la clase “CentralMercancia”, componente “Seize” llamado “sincronizarPedidoGC”, el número de unidades ha de ser leído desde “PedidoSupermercadoGC”, campo “camionesNecesarios” y para ello lo cargo como “agent.camionesNecesarios”.
- En la Pestaña “Proyectos”, hacer clic para seleccionar el proyecto “distribucionMercanciaMercadonaGranCanaria”:

- Botón derecho del ratón → Nuevo → Experimento
- Saldrá una ventana modal “Nuevo experimento”
  - Nombre: OptimizarCamionesGranCanaria
  - Tipo de Experimento: Optimización
  - Terminar
- Pestaña “OptimizarCamionesGC”
  - Propiedades del nuevo experimento:
    - Agente de nivel superior: main
    - Objetivo: maximizar
    - `root.centralMercancia.camionesGC.utilization()`  
como función objetivo
    - Número de iteraciones: 500
    - Pestaña ‘Parámetros’
      - 2 parámetros:
        - Parámetro: Camiones GC
        - Tipo: discreto
        - Mín: 3
        - Máx: 15
        - Paso: 1

Con esto se indica que se utilicen entre 3 y 15 camiones para este experimento.

- . Parámetro: Camiones Super
- . Tipo: fijo
- . Mín: 5
- Pestaña 'Requerimientos'
  - . Botón + (Añadir)
  - . Dejar marcado "Habilitado"
  - . Expresión:  
`toot.centralMercancia.camionesGC.utilization()`;
  - . Tipo: <=
  - . Límite: 0.8

Con los dos puntos anteriores lo que se quiere indicar es que el número máximo de camiones sea el 80%
- Botón 'Crear UI predeterminado', mostrando inicialmente según la figura 6.3:

## distribucionMercanciaMercadonaGranCanaria : OptimizarFlotaGranCanaria

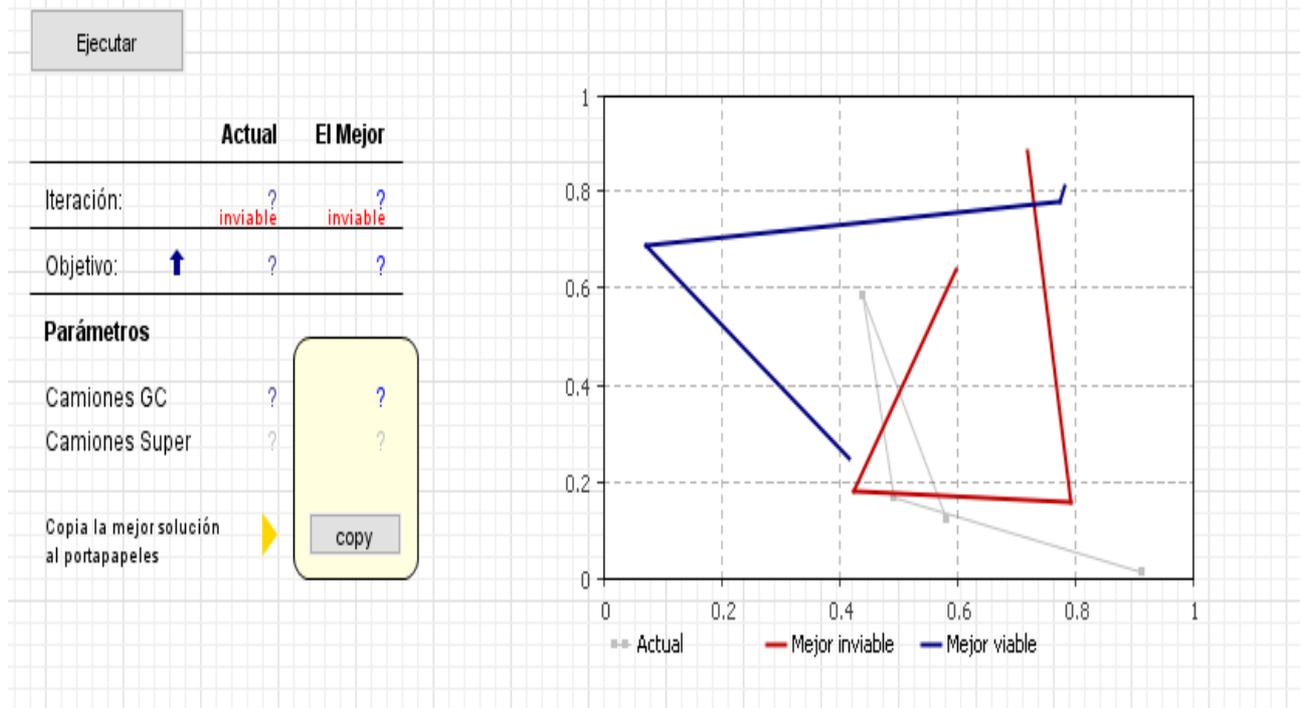


Figura 6.3: Interfaz de usuario inicial

- La línea blanca se corresponde con la iteración actual
  - La línea roja indica las iteraciones inviables
  - En la línea azul están las iteraciones mejores viables
- Ejecutar  
distribucionMercanciaMercadonaGC/OptimizarFlotaGranCanaria
  - Resultado de la ejecución, según la figura 6.4:

## distribucionMercanciaMercadonaGranCanaria : OptimizarFlotaGranCanaria

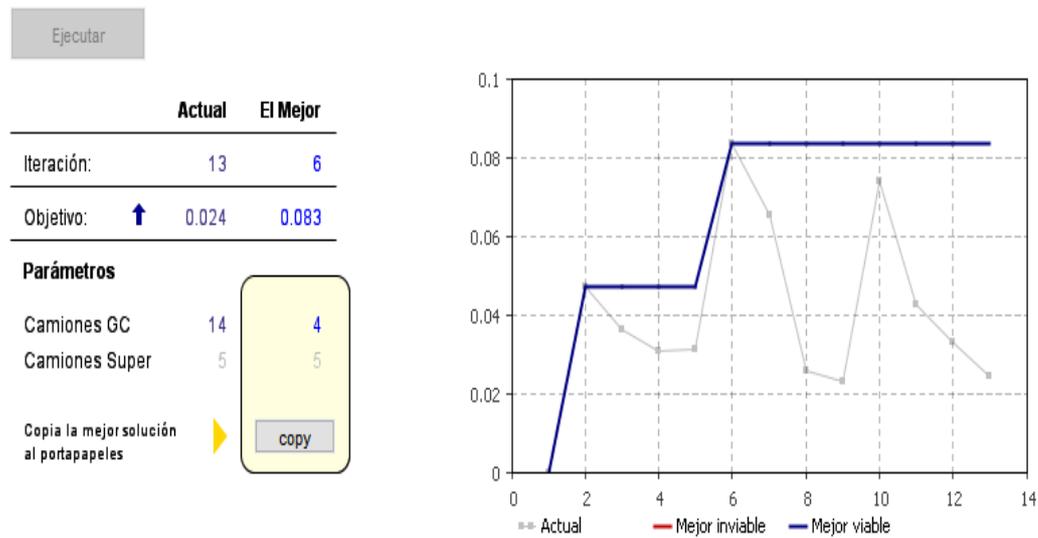


Figura 6.4: Optimización de camiones de Gran Canaria

- Se han hecho 13 iteraciones. La mejor iteración fue la 6
- La fiabilidad es de un 8,3%
- Se recomiendan 4 camiones

En la Tabla 6.2 se ha distribuido una lista con la cantidad óptima de camiones en base a los que podrían ir a cada supermercado para una flota de entre 3 y 15.

<b>Camiones que van a Supermercado</b>	<b>Flota de Camiones</b>	<b>Camiones Óptimos</b>	<b>Porcentaje</b>
[0,1]	[3,15]	9	0
[0,2]	[3,15]	3	31
[0,3]	[3,15]	3	51
[0,4]	[3,15]	6	55
[0,5]	[3,15]	4	78
[0,6]	[3,15]	5	76

**Tabla 6.2: Optimización Flota de Gran Canaria**

En este caso de todos los experimentos ejecutados se observa que la

opción mejor es de nuevo la de la tercera fila por ser la del 50% de el máximo número de camiones, pero por seguridad hay que escoger la cuarta fila, por los mismos motivos que la Tabla 6.1

# **Capítulo 7**

## **Conclusiones y líneas futuras**

### **7.1 Conclusiones**

El objetivo que se ha perseguido con la realización de este trabajo ha sido el implementar un simulador de la distribución de pedidos de la empresa Mercadona a los supermercados de las islas de Tenerife y de Gran Canaria para poder así realizar una optimización de la flota de camiones necesaria para realizar los repartos.

Para realizar el modelo se ha usado la herramienta Anylogic, perteneciente a la compañía del mismo nombre, que me ha permitido llevar a cabo ambas opciones: simulación y optimización.

Con ello, se ha conseguido poder realizar el cambio del número de camiones en el modelo sin necesidad de tener que realizar costosas inversiones.

Los modelos de toma de decisiones basados en simulaciones son una herramienta eficiente y versátil para hacer un estudio de si invertir en un proyecto es rentable, sin necesidad de realizar enormes inversiones económicas y evitar asumir riesgos producidos de una mala política de distribución.

Mi recomendación es que se utilice siempre este tipo de simuladores. No sólo se ahorrarán costos sino que la rapidez de implementación permitirá

tomar decisiones en tiempos cortos comparados con la misma opción de la vida real.

Como herramienta a usar, recomiendo la usada en este trabajo “Anylogic”, sobre todo por la facilidad de uso y su versatilidad, no sólo en el diseño, sino también en el desarrollo e implementación, debido a su agilidad.

Se ha conseguido realizar un estudio en profundidad acerca del número óptimo de camiones que debe de haber en la flota para conseguir realizar la distribución de mercancía a los supermercados sin necesidad de mantener el tope de camiones en base al número máximo necesario para cada supermercado.

## **7.2 Líneas futuras**

- . Que un camión pueda repartir a varios supermercados en el mismo día.
- . Poder hacer pedidos urgentes.
- . Abrir una sede en Gran Canaria.
- . Los camiones de Gran Canaria deben de volver lo antes posible a Tenerife, para quedar disponibles para hacer más repartos.

# **Capítulo 8**

## **Summary and Conclusions**

### **8.1 Conclusions**

In most studies that have been carried out on logistical operations intermodality, it is necessary to take into account the information collected to determine the best decision.

Having a high instability seriously damages the distribution of goods and this is far more real when we speak about multimodal transport.

In this case, there must be considered a great deal of operations to comply and the different actors involved.

Logistic application to transport choice allows a more beneficial selection of means, terminals, routes and schedules, although its most critical function is synchronization.

Logistics is a good basis in decision making that serves as a rule to be able to choose between what is a priority and what is secondary, between the right and not so right and between the essential and the dispensable.

Decision-making models based on simulations are an efficient and versatile tool to make a study of the profitability of investing in a project without the need to make huge economic investments and avoid the risks of a bad distribution policy.

With AnyLogic you can make an exhaustive study of a possible real life case, and then put it into practice.

## **8.2 Summary**

# Capítulo 9

## Presupuesto

### 9.1 Formación de Herramienta AnyLogic

Descripción	Importe
Libro "AnyLogic7 in three days"	20,,00 €
Búsqueda y lectura de información	400,00 €
Video tutoriales	800,00 €
Cursos de formación mensual, cada uno	500,00 €
<b>Suma</b>	<b>1.720,00 €</b>

**Tabla 9.1: Resumen de Formación de Herramienta**

### 9.2 Desarrollo del proyecto

<b>Descripción</b>	<b>Importe</b>
Puesta en marcha del proyecto de Tenerife	1.000,00 €
Puesta en marcha del proyecto de Gran Canaria	2.000,00 €
Puesta en marcha del proyecto común: Tenerife y Gran Canaria	3.500,00 €
Optimización de los recursos del proyecto común	500,00 €
Demostración del proyecto común al cliente	800,00 €
Perfeccionar los requisitos pedidos por el cliente	1.000,00 €
<b>Suma</b>	<b>8.800,00 €</b>

**Tabla 9.2: Resumen del Desarrollo**

### 9.3 Presupuesto Total

<b>Descripción</b>	<b>Importe</b>
Herramienta AnyLogic	18.000,00 €
Estudio de Formación Herramienta AnyLogic	1.720,00 €
Desarrollo del proyecto	8.800,00 €
Presupuesto para el cliente de puesta en marcha de este proyecto	4.400,00 €
<b>Suma</b>	<b>32.920,00 €</b>

**Tabla 9.3: Resumen Total**

# Bibliografía

- <http://laclasedeoscarboluda.blogspot.com.es/2015/03/transporte-multimodal-ventajas-y.html>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte\\_multimodal](https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_multimodal)
- <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/medios-y-gesti%C3%B3n-del-transporte/transporte-multimodal/>
- <http://www.bilogistik.com/blog/servicio-de-transporte-multimodal/>
- [https://es.slideshare.net/nogueratomas/transporte-multimodal-14966398?next\\_slideshow=1](https://es.slideshare.net/nogueratomas/transporte-multimodal-14966398?next_slideshow=1)
- <http://retos-operaciones-logistica.eae.es/conceptos-basicos-del-transporte-intermodal-tipos-y-modalidades/>
- <http://retos-operaciones-logistica.eae.es/transporte-intermodal-logistica-internacional/>
- <http://www.economia48.com/spa/d/optimizacion/optimizacion.htm>
- <http://www.simulart.cl/software-de-simulacion/software-servicemodel/>
- [http://www.belge.com.br/medmodel\\_esp.php](http://www.belge.com.br/medmodel_esp.php)
- <http://simulacionitca.blogspot.com.es/2012/05/promodel.html>
- [https://es.slideshare.net/GOGA81/exposicion-del-simulacion-38382231?next\\_slideshow=1](https://es.slideshare.net/GOGA81/exposicion-del-simulacion-38382231?next_slideshow=1)
- <https://es.slideshare.net/lulu0709/ventajas-y-desventajas-de-la-simulacion>

- <https://es.slideshare.net/LeonardoRojas74/ejemplo-desimulacincontinua>
- <https://es.slideshare.net/Jonathan-Cevallos/simulacion-discreta>
- <https://es.slideshare.net/rodadelmar73/modelado-simulacion-y-optimizacion-de-procesos-y-servicios-usando-la-herramienta-tecnologica-promodel>
- <https://editorial.logistica.la/2014/04/27/simulacion-optimizacion/>
- <https://es.slideshare.net/albertojecca/uso-de-statfit>
- <https://prezi.com/zfypaxmkoy3m/uso-de-stat-fit/>
- <https://translate.google.es/translate?hl=es&sl=en&u=https://www.simplan.de/en/software/tools/anylogic.html&prev=search>
- <http://mscerts.wmlcloud.com/es/855764.aspx>
- <https://www.simplan.de/en/software/tools/anylogic.html>
- <https://www.anylogic.com/>
- Ilya Grigoriev. (2014). AnyLogic in Three Days: a Quick Course in Simulation Modeling. E-Textbook: AnyLogic
- Andrei Borshchev. (2013). The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6. E-Textbook: Lightning Source Inc
- Dmitry Ivanov. (2017). Operations and Supply Chain Simulation with AnyLogic 7.2. Decision-oriented introductory notes for management students in master programs. Berlin: Berlin School of Economics and Law

- . Jeremy F. Shapiro. (2006). Modeling the Supply Chain Management. Second Edition. U.S.A: Massachusetts Institute of Technology.