

# Trabajo Fin de Grado

**Análisis y simulación de la operativa de equipo de manutención en la terminal intermodal ferroviaria de transporte de mercancías para contenedores de Zaragoza**

Autor:

**José Ramón Pena Sánchez**

Director:

**Emilio Larrodé Pellicer**

Titulación del autor

**Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2023

## Resumen

En este trabajo final de grado (TFG) se ha llevado a cabo el análisis, simulación y optimización de la capacidad operativa de una terminal intermodal de transporte de contenedores. La infraestructura elegida ha sido la Terminal Marítima de Zaragoza (TMZ).

La Terminal Marítima de Zaragoza es una terminal intermodal situada en Zaragoza, en concreto en Merca Zaragoza con conexión ferroviaria, y por carretera con la A-2.

El siguiente paso, ha sido buscar una herramienta de software capaz de simular y obtener la solución del problema. El sistema elegido ha consistido en la utilización de una simulación sobre la terminal, donde se ha podido estudiar los diferentes escenarios y casos de optimización, en este caso hemos analizado los tres modos distintos de descarga y hemos comprobado cuál de ellos es más viable económicamente. Para realizar este tipo de simulación me he apoyado en la herramienta llamada Anylogic PLE.

Anylogic es un software basado en una simulación híbrida. Los principales métodos de simulación en los que está fundamentado son la simulación de eventos discretos, la dinámica de sistemas y el modelado basado en agentes.

Una vez abierta la herramienta pasaremos a la realización del modelo de Anylogic. En primer lugar, se intentará replicar un modelo físico de la terminal con las distintas zonas de trabajo, en nuestro caso analizaremos únicamente la parte operativa de la terminal, específicamente el área operativa, que es la zona donde se realiza la carga y descarga de los contenedores.

En el programa asignaremos y crearemos todos los agentes que estén involucrados en el proceso de descarga. Una vez asignados construiremos a partir de ellos operaciones lógicas mediante bloques lógicos. Estos se han dividido en dos zonas importantes dentro de la terminal, la primera zona llamada Lógica del tren cuya función es el movimiento de los trenes dentro de la terminal, y la segunda zona se encarga principalmente de la descarga de los contenedores dentro de la terminal.

Mediante los Excel y los bloques lógicos obtendremos unos resultados cercanos a la realidad que nos ayudarán a elegir el mejor modo de descarga, observando el tiempo total que tardan las Reach Stacker en descargar por completo los trenes que llegan a la Terminal Marítima de Zaragoza en 24 horas. De esta manera se podrá analizar qué modos de descarga son los óptimos y viables para poder alcanzar los 160.000 contenedores de descarga al año, que es el objetivo de este proyecto.

Una vez creado el modelo hay que escoger los principales escenarios de simulación. Se analizará la capacidad en volumen de movimientos en función de la superficie necesaria para las operaciones intermodales tren-ReachStacker, y la capacidad técnico-operativa expresada en tiempos de actividad necesarios en la operación de intercambio modal. El objetivo principal es determinar la demanda máxima de equipos en una terminal ferroviaria de transporte de mercancías de contenedores mediante la descarga con 1,2,3,4,5,6,7 y 8 Reach Stacker.

## Índice

Resumen	1
Índice de imágenes y tablas	4
1. Objeto, justificación y alcance de proyecto	6
1.1    Objeto del trabajo	6
1.2    Justificación del trabajo	6
1.3    Alcance del trabajo	6
2. Introducción	7
2.1    Transporte Intermodal	7
2.2    Terminal Intermodal	7
2.3    Ventajas y desventajas del transporte intermodal	8
3. Terminal Intermodal Marítima de Zaragoza	9
3.1    Localización, emplazamiento y descripción de la instalación	9
4. Metodología de análisis	12
5. Modelización con Anylogic	14
5.1    Creación de los Agentes de la Terminal	17
5.1.1    Agente TMZGZ	18
5.1.2    Agente Trenes	20
5.1.3    Agente CabezaYVagones	21
5.1.4    Agente LContenedores	22
5.1.5    Agente ReachStackers	23
5.1.6    Agente LeeListadeExcel	24
5.2    Lógica de la Terminal	25
5.3    Simulador	30
6. Configuración de la tabla de datos	34
6.1 Escala	39
7. Casos y análisis de resultados	40
7.1 Comparación del tiempo y del precio	46
7.2 Comparación de modos de descarga de cada caso	55
8. Conclusión	59
9. Bibliografía	61

## Índice de Imágenes y tablas:

<b>Imagen1:</b> Corredores de la Península Ibérica.....	9
<b>Imagen2:</b> Distribución de la Terminal marítima de Zaragoza.....	10
<b>Imagen3:</b> Merca Zaragoza.....	10
<b>Imagen4:</b> Conexiones Vías de TMZ.....	11
<b>Imagen5:</b> Esquema funcional de la Terminal marítima de Zaragoza.....	12
<b>Imagen6:</b> Reach Stacker.....	12
<b>Diagrama1:</b> Modelado de la Terminal marítima de Zaragoza.....	14
<b>Imagen7:</b> Simulación 2D TMZ.....	15
<b>Imagen8:</b> Zoom Vías.....	16
<b>Imagen9:</b> Vista desde el Maps TMZ.....	17
<b>Imagen10:</b> Selección tipo de agente.....	20
<b>Imagen11:</b> Agente Trenes.....	20
<b>Imagen12:</b> Selección tipo de agente.....	21
<b>Imagen13:</b> Agente CabezaYVagones.....	21
<b>Imagen14:</b> Agente LContenedores.....	22
<b>Imagen15:</b> Selección tipo de agente.....	22
<b>Imagen16:</b> Selección tipo de agente.....	23
<b>Imagen17:</b> Agente ReachStackers.....	23
<b>Imagen18:</b> Agente LeeListadeExcel.....	24
<b>Imagen19:</b> Selección tipo de agente.....	24
<b>Imagen20:</b> Lógica de la Terminal Marítima de Zaragoza.....	25
<b>Imagen21:</b> Lógica del tren 1.....	25
<b>Imagen22:</b> Lógica de descarga 1.....	26
<b>Imagen23:</b> Lógica de descarga 2.....	26
<b>Imagen24:</b> Lógica de descarga 3.....	27
<b>Imagen25:</b> Lógica de descarga 4.....	27
<b>Imagen26:</b> Lógica de descarga 5.....	28
<b>Imagen27:</b> Lógica del tren 2.....	29
<b>Imagen28:</b> Ventana de Simulación.....	30
<b>Imagen29:</b> Simulación en 2D.....	31
<b>Imagen30:</b> Simulación en 3D.....	31
<b>Imagen31:</b> Modo de descarga 1.....	32
<b>Imagen32:</b> Modo de descarga 2.....	32
<b>Imagen33:</b> Modo de descarga 3.....	33
<b>Imagen34:</b> Colores de los vagones.....	34
<b>Imagen35:</b> Pantalla Cargar Excel Trenes.....	35
<b>Imagen36:</b> Pantalla DescargadoPorXReachStacker Resultados.....	35
<b>Imagen37:</b> Pantalla Cargar Excel Trenesdesordenados.....	38
<b>Imagen38:</b> Pantalla Cargar Excel TrenesTodReachA2Tren.....	39
<b>Imagen39:</b> Calculo del Ratio.....	40
<b>Imagen40:</b> Calculo de las velocidades.....	40
<b>Imagen41:</b> Calculo de los tiempos de enganche y desenganche.....	40

<b>Tabla1:</b> Caso 1 Modo1.....	41
<b>Tabla2:</b> Caso 1 Modo2.....	42
<b>Tabla3:</b> Caso 1 Modo3.....	42
<b>Tabla4:</b> Caso 2 Modo1.....	43
<b>Tabla5:</b> Caso 2 Modo2.....	43
<b>Tabla6:</b> Caso 2 Modo3.....	44
<b>Tabla7:</b> Caso 3 Modo1.....	44
<b>Tabla8:</b> Caso 3 Modo2.....	45
<b>Tabla9:</b> Caso 3 Modo3.....	45
<b>Imagen42:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	46
<b>Imagen43:</b> Gráfica Caso 1 Modo 1.....	47
<b>Imagen44:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	47
<b>Imagen45:</b> Gráfica Caso 1 Modo 2.....	47
<b>Imagen46:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	48
<b>Imagen47:</b> Gráfica Caso 1 Modo 3.....	48
<b>Imagen48:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	49
<b>Imagen49:</b> Gráfica Caso 2 Modo 1.....	49
<b>Imagen50:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	50
<b>Imagen51:</b> Gráfica Caso 2 Modo 2.....	50
<b>Imagen52:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	51
<b>Imagen53:</b> Gráfica Caso 2 Modo 3.....	51
<b>Imagen54:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	52
<b>Imagen55:</b> Gráfica Caso 3 Modo 1.....	52
<b>Imagen56:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	53
<b>Imagen57:</b> Gráfica Caso 3 Modo 2.....	53
<b>Imagen58:</b> Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales.....	54
<b>Imagen59:</b> Gráfica Caso 3 Modo 3.....	54
<b>Imagen60:</b> Evento ResultadosHojaExcel.....	36
<b>Imagen61:</b> Gráfica de comparación de costes unitarios.....	55
<b>Imagen62:</b> Gráfica de comparación de vagones descargados.....	55
<b>Imagen63:</b> Gráfica de comparación de costes unitarios.....	56
<b>Imagen64:</b> Gráfica de comparación de vagones descargados.....	56
<b>Imagen65:</b> Gráfica de comparación de costes unitarios.....	57
<b>Imagen66:</b> Gráfica de comparación de vagones descargados.....	57
<b>Imagen67:</b> Gráfica de comparación de costes unitarios.....	58
<b>Imagen68:</b> Gráfica de comparación de vagones descargados.....	58

## 1. Objeto, justificación y alcance de proyecto

### 1.1 Objeto del trabajo

El objeto principal de este trabajo es determinar la demanda máxima de equipos en una terminal ferroviaria de transporte de mercancías de contenedores. Para ello, se va a utilizar una herramienta llamada Anylogic PLE, cuya función es analizar y simular procesos de carga y descarga de mercancías dentro de las terminales ferroviarias.

El programa se centra en intentar replicar de forma informática la infraestructura y los equipos que tiene la terminal intermodal de Zaragoza.

Una vez creado el modelo de la estación y de las infraestructuras, se realizan distintas pruebas con el fin de obtener los mejores modelos de trabajo.

La utilización de esta herramienta puede resultar muy interesante ya que el transporte intermodal es un sector que se encuentra en constante crecimiento.

Además, España cuenta con una muy buena red ferroviaria tanto para el transporte de pasajeros como para el transporte de mercancías. Aragón a su vez, está muy bien situado geográficamente, siendo Zaragoza el punto medio entre las dos ciudades más grandes de España.

### 1.2 Justificación del trabajo

El análisis y la optimización de la capacidad operativa de la terminal para intentar mejorar su producción y funcionamiento es el objetivo fundamental de este trabajo. Con esto buscamos conocer el grado de utilización y las posibilidades de crecimiento o mejora que tiene la terminal. Además, esto nos permite realizar la simulación en una herramienta y acercarnos a la realidad, de esta forma podemos estimar de manera más o menos realista si es viable o no, sin necesidad de realizar el proyecto a ciegas. Asimismo, esta herramienta es capaz de crear escenarios futuros y ver la capacidad de respuesta que tienen los equipos y la infraestructura de la terminal. Por último, esta herramienta nos permite variar la cantidad de equipos o infraestructuras para así poder analizar los diferentes casos y así poder analizar sus resultados.

Esta herramienta es necesaria ya que es la única forma de conocer la demanda de los equipos real, ya que no se puede calcular de forma ambigua. Con la simulación logramos acercarnos a la realidad sobre la descarga en una terminal intermodal.

### 1.3 Alcance del trabajo

En el trabajo se ha realizado un modelado de la situación actual de la terminal tmZ, teniendo en cuenta la infraestructura y los equipos que contiene la terminal. En este proyecto se ha llevado a cabo el análisis de capacidad de una estación intermodal analizando sus procesos de carga y descarga utilizando el software Anylogic PLE que basa sus operaciones principalmente en un sistema de eventos discretos.

La versión escogida ha sido Anylogic PLE, es una versión gratuita para estudiantes, que te permite analizar distintos proyectos de investigación de sectores muy diversos. El programa contiene distintos iconos y bloques en la librería que se emplean para la realización de la simulación.

Se analizará la situación actual de la estación con 8 grúas Reach Stacker y con trenes de 550 metros de longitud como máximo o de 25 contenedores.

Al ser una versión gratuita para estudiantes, la herramienta solo nos ofrece 1 hora de simulación, por lo que tendremos que hacer una escala real para poder calcular de los tiempos de carga y descarga del tren.

## 2. Introducción

### 2.1 Transporte Intermodal

El transporte intermodal hace referencia al desplazamiento de mercancías utilizando diferentes medios. Es decir, se trata de trasladar productos en el que la cadena de suministro utiliza distintos transportes para realizar el desplazamiento de las mercancías desde el punto de recepción hasta el destino final de la carga.

Existen cuatro tipos de transporte de mercancías:

1. Transporte por carretera
2. Transporte ferroviario
3. Transporte aéreo
4. Transporte marítimo

Este proyecto se va a centrar principalmente en el transporte ferroviario únicamente de contenedores.

Para el transporte de contenedores se utilizan plataformas especializadas tanto en el ferrocarril como en los camiones.

Es necesario que se cumplan dos requisitos para poder hablar de intermodalidad:

1. Que sólo se utilice en la terminal una única medida de transporte, lo más común es el uso de contenedores.
2. Que la mercancía no sea separada en ningún punto del trayecto y sea descargada por un mismo agente.

En la actualidad las cadenas de suministro en todo el mundo se encuentran en crecimiento con un cambio constante, por ello, es necesario realizar primero un análisis acerca del estado actual del sector. Calculando si el sector es capaz o no, de cubrir las necesidades actuales de transporte de mercancías. Esto lo lograremos mediante la simulación de descarga de la Terminal Marítima de Zaragoza donde podremos ver cuantos contenedores y en cuanto tiempo pueden ser descargados.

Este tipo de transporte ha aumentado de forma exponencial en los últimos años debido al aumento de las compras por internet, y sobre todo debido a la globalización.

### 2.2 Terminal Intermodal

La terminal intermodal es el punto donde se realizan los transbordos entre los distintos tipos de transporte. Las terminales intermodales se suelen ubicar en zonas estratégicas que tengan buena conexión con los tipos de transportes empleados en esa terminal.

En las principales terminales encontraremos los siguientes elementos:

- Oficinas: es el lugar donde se realiza el control documental de la mercancía de la terminal.
- Playa de transbordo: Zona de carga y descarga más cercana a la playa de vías donde se deposita la mercancía que no va a expedir o que va a ser posteriormente almacenada.
- Playa de vías de carga y descarga: es la zona donde se realiza la carga y descarga de todos los trenes de la terminal. Está situada al lado de la playa de intercambio y de la zona de almacenaje para facilitar la carga y descarga.
- Grúas reach Stacker: Son máquinas con ruedas que se encargan de realizar la descarga de mercancías desde la playa de intercambio hasta la zona de almacenaje o hasta la plataforma de los camiones y viceversa. Estas máquinas se mueven libremente por toda la terminal.
- Playa de almacenamiento: Es la zona donde se depositan las mercancías de los trenes que no van a salir de inmediato.
- Otros servicios: algunas terminales intermodales cuentan con talleres para reparación de trenes y de contenedores, además algunas también cuentan con servicios aduaneros.

## 2.3 Ventajas y desventajas del transporte intermodal

A continuación, se van a enumerar las principales ventajas y desventajas que tiene el transporte intermodal.

Ventajas:

- Precios menos elevados: Los precios son más económicos que los de la competencia. Generalmente, se suelen pactar los diferentes precios dependiendo de las características de la operación y sus diferentes particularidades
- Mayor agilidad: Como los contenedores utilizados en este sistema de transporte se encuentran precintados, suele ser más ágil. Normalmente, el hecho de que los contenedores se encuentren precintados repercute positivamente en la agilidad de este sistema de transporte ya que los clientes suelen recibir la mercancía en un menor tiempo, en comparación con otro sistema de transporte.
- Seguridad ampliada: Alta seguridad, ya que se suele contar con una menor cantidad de incidencias en comparación con otros posibles sistemas de transporte.
- Transporte es menos intrusivo para el medio ambiente: Es el transporte que más sostenibilidad tiene con el medio ambiente. Cabe destacar que los recursos utilizados en las operaciones propias del transporte intermodal son menos contaminantes con el medio ambiente.
- Fácil gestión: Esto se debe a que cada uno de los transportadores utilizados a través de este sistema de transporte intermodal hacen uso de un documento único lo cual facilita enormemente las tareas relacionadas con la gestión.
- Disminución de los tiempos: Hoy en día, una de las principales necesidades de todo negocio internacional que requiera de operaciones derivadas de la logística, es el tiempo. El tiempo que necesitas para la realización de estas tareas de carga y descarga suelen ser la mayoría de ocasiones menores que si optas por otros sistemas de transporte.

Desventajas:

- Mayor lentitud: En comparación con otros sistemas de transporte como el multimodal, el transporte intermodal suele ser más lento.
- Inversión en infraestructura: Los recursos a nivel de infraestructura necesarios para la puesta en funcionamiento del transporte intermodal suelen ser bastante elevados.
- Embalaje de mercancía: Si necesitas un transporte que cuide tus mercancías y evite que estas sufran daños. Es bastante probable que si optas por esta opción debas invertir unos pocos recursos adicionales para el embalaje de tus productos.

### 3. Terminal Intermodal Marítima de Zaragoza

Como ya hemos adelantado analizaremos la terminal intermodal marítima de Zaragoza, la cual fue inaugurada en 2001 impulsada por Merca Zaragoza y el Puerto de Barcelona, con el objetivo de fomentar las importaciones y exportaciones de Aragón y de toda su área de influencia. Con instalaciones ferroviarias propias, constituye hoy un nudo logístico de primer orden en el panorama nacional. Es una de las terminales con mejor rendimiento de España y tan solo cuenta con una superficie de 100.000 metros cuadrados.

A finales del pasado año, TMZ estrenó nuevas instalaciones, que le permiten no solo tener más capacidad operativa, sino además convertir a MercaZaragoza en una plataforma logística agroalimentaria, gracias a la apertura de un canal de frío que permite el transporte ferroviario de alimentos perecederos con control de temperatura y manteniendo en todo momento la cadena de frío. De esta manera, TMZ se ha convertido en una infraestructura de importación y exportación hacia todos los mercados del mundo, a través de los puertos de Barcelona y de Bilbao, y continúa así con el imparable crecimiento que ha experimentado desde su apertura en 2007.

#### 3.1 Localización, emplazamiento y descripción de la instalación

Esta terminal se encuentra en la ciudad de Zaragoza, su ubicación es clave ya que se trata de un nudo logístico ferroviario que une los principales puertos y ciudades de España. También tiene conexión directa con las principales instalaciones logísticas. Además, en 2017 se inauguró su conexión ferroviaria con China, para así conectar al gigante asiático con el resto de España. De esta manera la TMZ se convierte en la única parada española de la Ruta de la Seda.



Imagen 1: Corredores de la Península Ibérica

La imagen 1, nos muestra la red transeuropea de transporte ferroviario. En ella, se pueden apreciar los principales corredores ferroviarios de la península ibérica. Como se observa, Zaragoza está muy bien situada geográficamente en España siendo la ciudad de paso de mercancía entre Barcelona y Madrid.

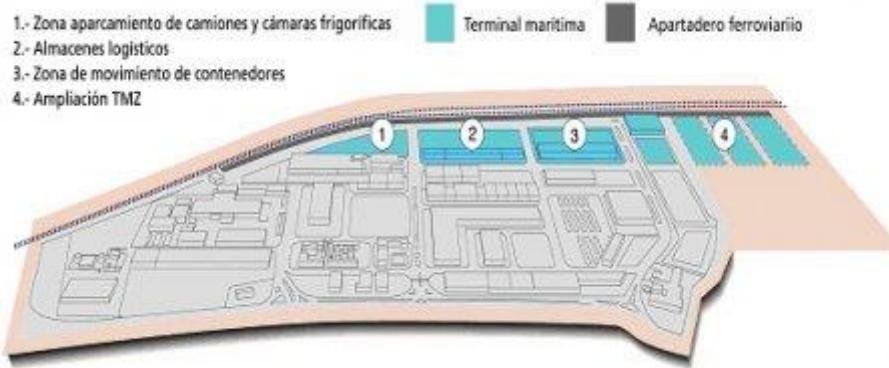


Imagen 2: Distribución de la Terminal marítima de Zaragoza

En la siguiente imagen 2, observamos cual es la distribución de la Terminal Marítima de Zaragoza. En color azul se pueden diferenciar las distintas zonas de acción que tiene la terminal. La zona 1, es la zona de aparcamiento de camiones y almacenamiento de cámaras frigoríficas. La zona 2 se emplea para almacenes logísticos, la zona 3 sería la zona donde se realizan los movimientos de los contenedores y, por último, la zona 4 sería la que se quiere ampliar en un futuro. Actualmente esta última se encuentra en obras.



Imagen 3: Merca Zaragoza

TMZ se emplaza en el Polígono de Merca Zaragoza, una de sus mejores características es que TMZ se encuentra rodeado de distintos mercados, como se puede apreciar en la imagen 3. Esto facilita y abarata el transporte de algunas mercancías hasta sus establecimientos.

Otro punto fuerte de la terminal es que Merca Zaragoza limita con la Autopista A-2 Madrid-Barcelona lo que facilita en gran medida su accesibilidad y extracción de productos.

La instalación ferroviaria contiene los siguientes servicios:

- Carga general desde y hacia todos los puertos: TmZ Services es el operador de la Terminal Marítima de Zaragoza que gestiona su actividad, el depot de contenedores y servicios de logística.
- Logística de contenedores: almacenamiento de contenedores tanto llenos como vacíos. Servicio de maniobras y limpieza. Conexión directa con operadores logísticos y clientes.
- Logística del frío: logística de contenedores con control de temperatura. La plataforma cuenta con 60 enchufes para contenedores "reefer".
- Logística de cargas: principalmente, consolidación y desconsolidación, junto con otros servicios de valor añadido para los clientes, como son la clasificación y paletización.
- Servicios de transporte: facilita y gestiona el transporte desde las instalaciones al destino solicitado.
- Servicio aduanero: permite a los clientes el ahorro de tiempo y la reducción de tareas administrativas en el puerto.

La instalación ferroviaria contiene las siguientes infraestructuras:

- Más de 100.000 metros cuadrados de suelo con posibilidad de ampliación.
- De ellos, 65.000 metros cuadrados dedicados para el Depósito de Contenedores, con una capacidad para almacenar más de 1.500 contenedores.
- Más de 20.000 metros cuadrados de suelo logístico disponible, ampliables en 90.000 metros cuadrados.
- Conexión para 60 enchufes "reefer" (contenedores refrigerados) que permite el transporte de mercancías bajo control de temperatura.
- Un local con una superficie de 2.512 metros cuadrados.
- Medios auxiliares: Tractor 310

TMZ cuenta en la actualidad con dos vías en placa, de 912 m de longitud y una superficie aproximada de 40.000 metros cuadrados de zona ferroviaria en la que opera una grúa móvil. Además, como vemos en la imagen 4 la terminal está muy bien conectada por vías.

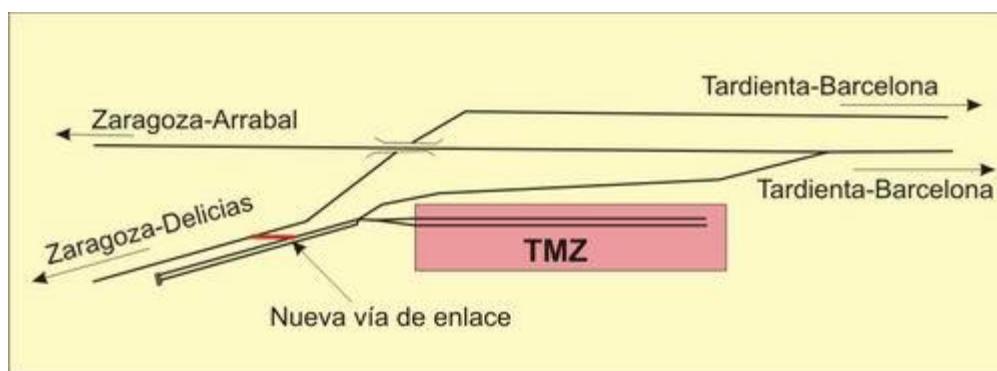


Imagen 4: Conexiones Vías de TMZ

En esta imagen 5, podemos apreciar el esquema funcional de la Terminal Marítima de Zaragoza. En la parte izquierda de la imagen tenemos el área técnica de la terminal, por otro lado, en la parte derecha de la terminal se encuentra la zona donde se realiza la carga y descarga de la mercancía. Únicamente se realiza la carga y descarga de los trenes de mercancías en la Vía-2, Vía-4, Vía-6 y Vía-8. En la simulación se va a esquematizar únicamente la zona del Área Operativa de la terminal. La Vía-0 se utiliza para almacenar a los trenes que aún no han sido descargados.

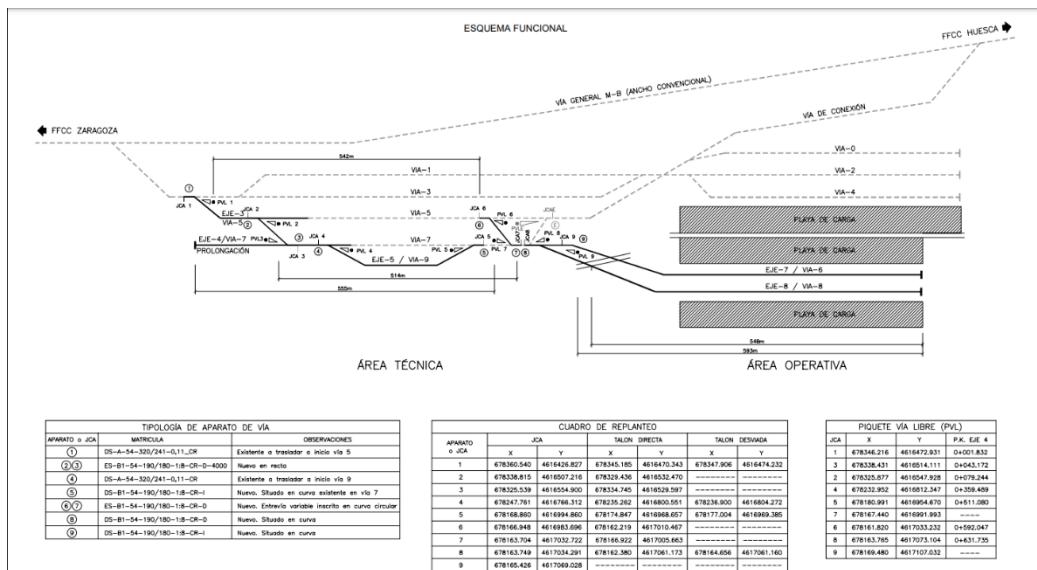


Imagen 5: Esquema funcional de la Terminal marítima de Zaragoza

La Instalación cuenta con 8 Reach Stackers, estas son las encargadas de retirar cada contenedor de cada tren y depositarlos en las playas de descarga disponibles. Estas máquinas son capaces de descargar cargas de hasta 45 toneladas en la primera fila, hasta 36 toneladas en la segunda fila y hasta 19 toneladas en la tercera. Esto indica que a medida que el brazo extensor aumenta en longitud la Reach Stacker va perdiendo fuerza. Las Reach Stacker poseen un Brazo Telescopico de 15050 mm para 5 contenedores de altura, lo que permite apilarlos como se ve en la imagen 6.

Cuando las Reach Stackers van sin carga pueden alcanzar una velocidad de unos 10 km/h. En cambio, cuando están cargadas su velocidad máxima es de alrededor de 8 km/h.



Imagen 6: Reach Stacker

#### 4. Metodología de análisis.

Una vez planteado el problema necesitamos encontrar un software que nos ayude a simular de forma realista el emplazamiento de TMZ. En este caso buscamos concretamente un programa informático capaz de trabajar con un sistema de eventos discretos, y que tenga como variable el tiempo.

Ya que existen muchos programas capaces de operar con eventos discretos, se ha buscado el programa más adecuado para este trabajo.

Finalmente, se optó por trabajar con la herramienta de Anylogic. Esta herramienta es un simulador que funciona con el modelado de eventos discretos, dinámica de sistemas y simulación basada en agentes mediante el lenguaje de Java.

Este programa es capaz de simular distintos sectores, como el ferroviario, el sector transporte, y el sector relacionado con cadenas de trabajo.

Además, este programa cuenta con distintas librerías que nos permiten realizar simulaciones en 2D y en 3D.

Para poder realizar este TFG se ha empleado una versión libre de Anylogic creada únicamente para estudiantes, Anylogic PLE. Al ser una versión de prueba para estudiantes la herramienta tiene distintas limitaciones en comparación con la herramienta completa. La principal limitación es que solamente deja simular 1 hora del tiempo interno del programa. Como la descarga de los trenes mercancía es mucho mayor lo que se ha realizado es cambiar el tiempo real de la simulación por una escala equivalente para obtener los resultados reales.

## 5. Modelización con Anylogic

Una vez elegido el programa que se va a utilizar para el desarrollo de este proyecto, vamos a explicar cómo se ha ido desarrollando paso a paso.

Aquí tenemos un diagrama en el que vemos los principales pasos que se han seguido a la hora de realizar la simulación de la terminal marítima de Zaragoza.

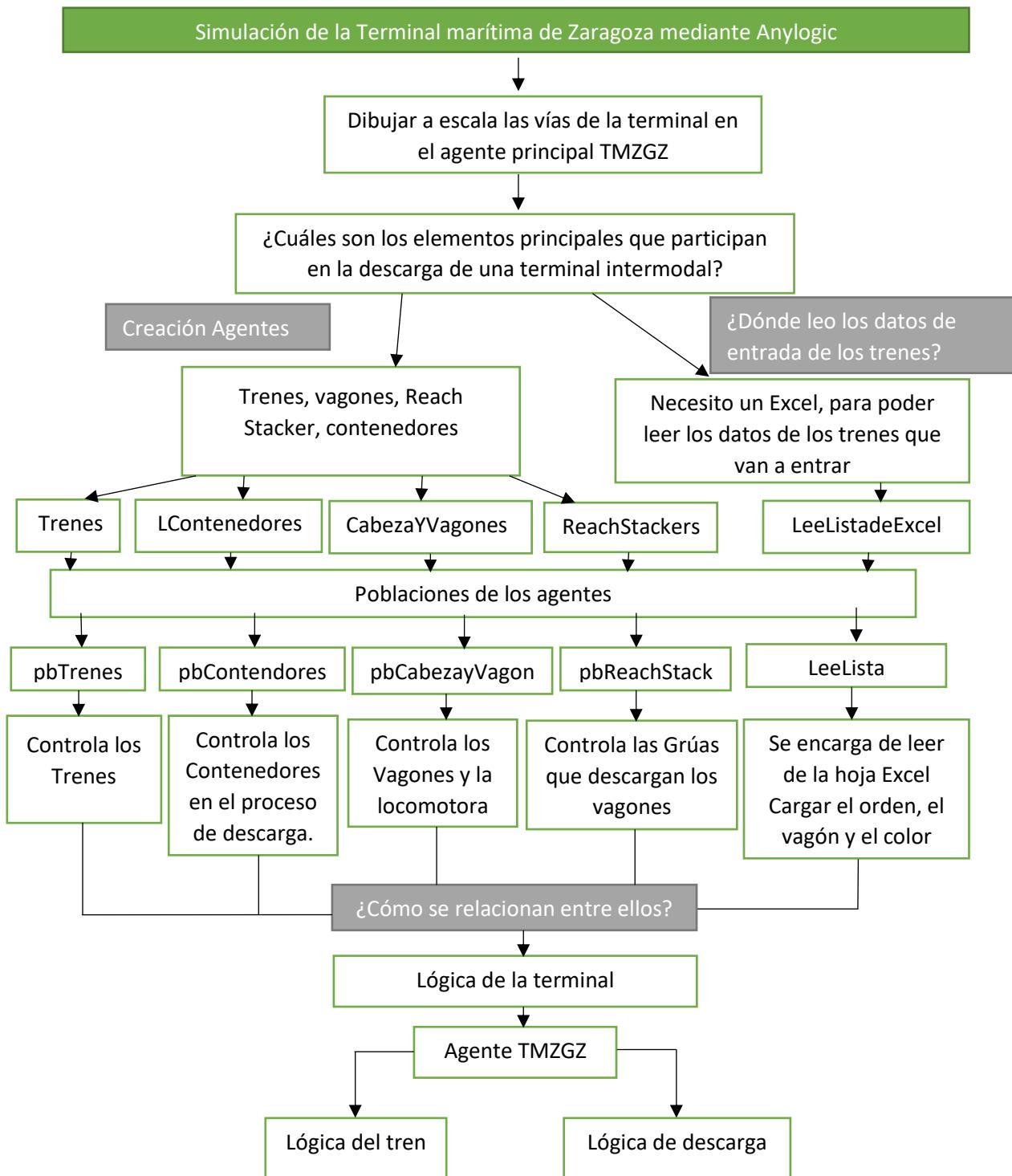


Diagrama 1: Modelado de la Terminal Marítima de Zaragoza

Dentro de la estación de TMZ, se ha puesto como referencia en el simulador la zona del Área Operativa de la terminal.

La lógica se ha dividido en dos partes fundamentales, la lógica del tren, que se encarga únicamente del movimiento del tren dentro de la terminal y la lógica de descarga, que se encarga de controlar todo el proceso de descarga desde que la Reach Stacker carga el contenedor del vagón hasta que lo descarga en la playa correspondiente.

El primer paso dentro de la Herramienta de Anylogic es dibujar el emplazamiento. En nuestro caso, dispondremos de 4 vías para descargar trenes. En el emplazamiento de TMZ tenemos disponibles tres playas de descarga. Estas playas son las que se utilizan para descargar todos los contenedores mediante las Reach Stackers. TMZ cuenta con 4 vías de 600 m de largo para la descarga de trenes, como podemos ver en la imagen 7.

Lo primero que tenemos que hacer en la herramienta es dibujar las cuatro vías de descarga y las respectivas playas de descarga.

Las playas de descarga de contenedores están delimitadas por puntos de color verde.

Los círculos blancos que se encuentran entre las vías son un Railway Switch, también llamado cambio de aguja. Su principal función es cambiar la dirección del tren dependiendo de la vía que esté libre.

En esta imagen 7 tenemos el dibujo de la terminal en 2D en Anylogic, también se puede ver en 3D, pero para eso necesitamos cámaras que veremos próximamente.

El área delimitada por puntos de color azul es la zona de almacenamiento de las Reach Stacker, desde allí iniciaran el movimiento para realizar la descarga de los contenedores.

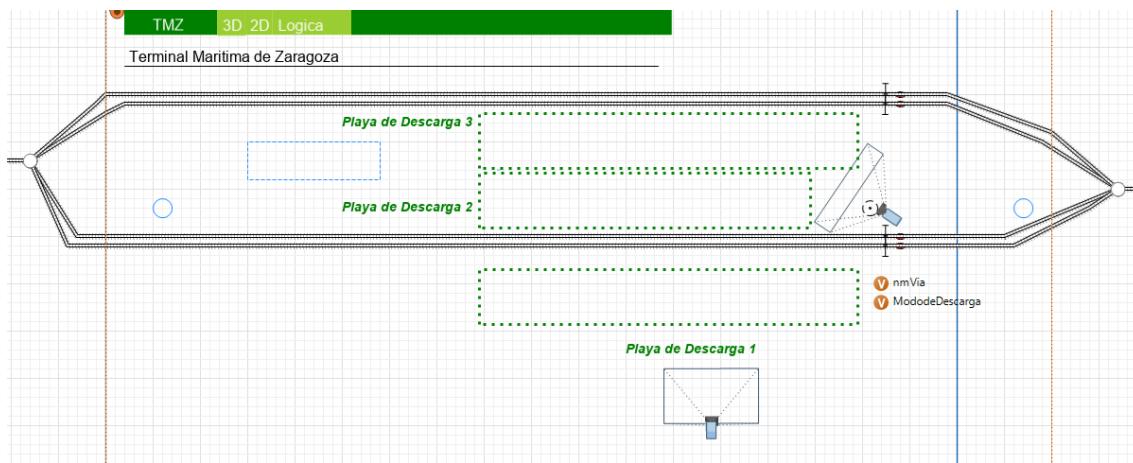


Imagen 7: Simulación 2D TMZ

En la siguiente imagen 8, se pueden apreciar unas líneas en medio de las vías, estas líneas indican el punto exacto en el cual se va a detener el tren. De este tipo de líneas llamadas Position on Track tenemos seis.

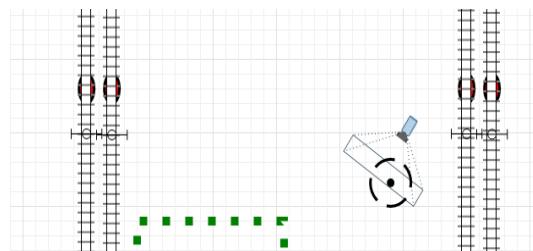


Imagen 8: Zoom Vías

- puntoVia1: que hace referencia a la vía 8
- puntoVia2: que hace referencia a la vía 6
- puntoVia3: que hace referencia a la vía 4
- puntoVia4: que hace referencia a la vía 2
- puntoEntrada: sería el punto inicial donde el programa genera los trenes simulados con sus respectivos vagones.
- puntoSalida: sería el punto final donde el programa hace desaparecer el tren de la simulación una vez ha sido descargado

Además, en la imagen 8 podemos apreciar un vehículo azul con un rectángulo. Este se utiliza únicamente para el visualizado en 3D. Es decir, es una cámara que al asociarla a una ventana del programa podemos la instalación completa en 3D.

También se puede apreciar en la misma imagen, un punto negro circular, este círculo llamado punto\_0 se utiliza como punto de referencia para la creación de los contenedores de cada tren y para poder situarlos bien en cada vagón.

En la imagen de la derecha podemos observar unos círculos rojos debajo de las vías, estos círculos únicamente se encienden cuando hay un tren encima de la vía donde están situados, es decir, cuando un tren entra en la terminal y se queda parado en su respectivo punto vía el círculo rojo se ilumina indicando que esa vía está ocupada.

El circulo amarillo en la imagen 7, es una variable de tipo integer que únicamente está ahí para saber que vía está siendo descargada durante la simulación siendo:

- nmVia=0: Vía 8
- nmVia=1: Vía 6
- nmVia=2: Vía 4
- nmVia=3: Vía 2

El circulo amarillo en la imagen 7, es una variable de tipo integer que únicamente está ahí para saber qué modo de descarga se está aplicando durante la simulación.

- MododeDescarga=0
- MododeDescarga=1
- MododeDescarga=2
- MododeDescarga=3

Una vez creado el tren que va a entrar en la terminal, este aparece en el Position on Track llamado puntoEntrada, desde allí se desplaza hasta la vía libre y se para en cualquiera de los puntoVia nombrados anteriormente, siempre y cuando esa vía este libre. Cuando han entrado

los cuatro trenes en la terminal se procede a su descarga mediante bloques lógicos que veremos más abajo. Una vez acabada la descarga de los trenes, éstos se desplazan hasta el puntoSalida donde desaparecerán de la simulación, una vez haya desaparecido el tren, la terminal permite que pueda entrar el siguiente tren para ser descargado. Para saber cuándo puede entrar el siguiente tren, se emplea una variable tipo integer que cuenta los trenes a su entrada en la estación y reserva su hueco (su valor como máximo puede ser 4 ya que es el número de vías máximo), cuando el tren sale de la terminal libera un espacio y deja pasar al siguiente. Esta variable aumenta su valor de uno en uno cada vez que entra un tren y lo disminuye de la misma manera cuando sale cada tren, siendo su valor máximo cuatro y su valor mínimo cero.

Para el dibujo de la instalación me he basado principalmente en una foto satelital de la terminal, imagen 9, agregando en cada una de las 4 vías de descarga una salida común que nos facilitará llevar a cabo la simulación. En la imagen 9 satelital, se puede apreciar las tres playas de descarga.

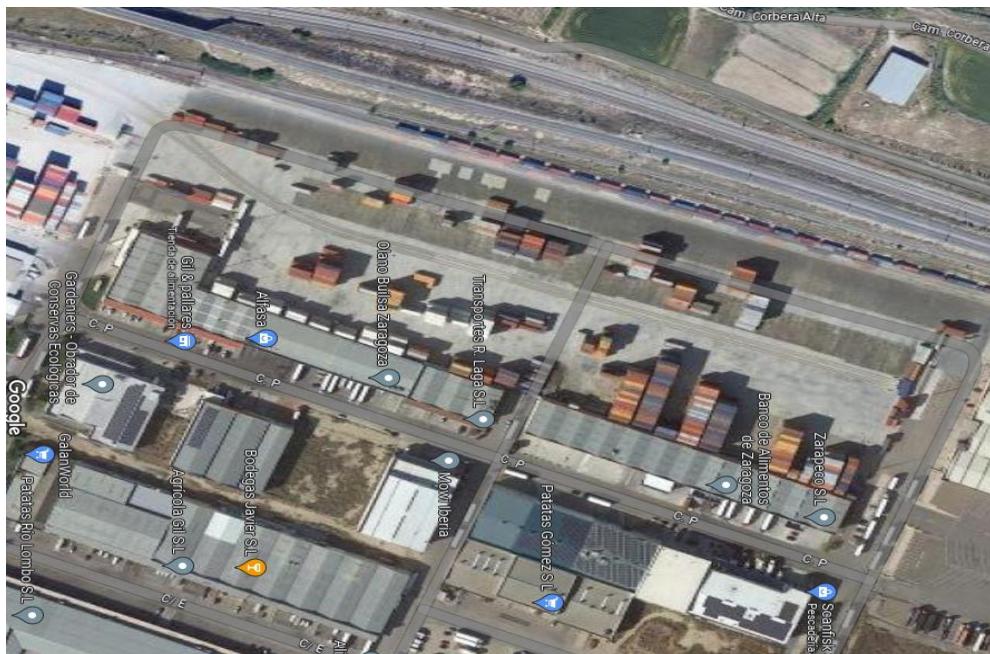


Imagen 9: Vista desde el Maps TMZ

## 5.1 Creación de los Agentes de la Terminal.

Para poder hacer funcionar la terminal tenemos que crear los agentes principales de la terminal.

1. **TMZGZ:** es el agente MAIN es el encargado de ejecutar todas las órdenes principales para que la simulación funcione correctamente. Este es el agente que alberga el dibujo 2D de la terminal y la lógica que es la encargada de generar los trenes y descargarlos.
  2. **Trenes:** es el agente encargado de los trenes que entran en la terminal, para esto se crea también una población de trenes llamada **pbTrenes**, esta se encarga de almacenar todos los trenes que pasan por la terminal. Si no se creara la población de trenes únicamente se podría introducir un tren en toda la terminal.
  3. **CabezayVagones:** este agente es el encargado de contar todos los vagones que entran en la terminal incluyendo la locomotora. Este agente también necesita tener una población como Trenes, su nombre es **pbCabezayVagon**.
  4. **LContenedores:** este agente se utiliza para generar contenedores que puedan ser descargados por el programa Anylogic. La forma del contenedor tanto en 2D como en 3D se crea a partir de las librerías que incluye el programa. Los contenedores también

necesitan estar agrupados en una población que será la encargada de almacenar todos los contenedores generados, esta población se denomina **pbContenedores**.

5. **ReachStackers:** este agente es el encargado de descargar los LContenedores generados mediante una población llamada **pbReachStack**.
6. **LeeListadeExcel:** en este caso se trata de un agente no físico como los anteriores, este agente se encarga de leer de un archivo Excel el Orden, el Vagón y el Color del vagón. Este agente tiene una población llamada **LeeLista**.

### 5.1.1 Agente TMZGZ.

Es el agente principal del programa. En este tipo de agente no tenemos poblaciones como en los anteriores. En este agente ponemos los principales parámetros que utilizaremos a la hora de realizar la simulación.

Parámetros principales:

- **ReachStackerTotales:** es un parámetro de tipo integer que nos indica la cantidad de Reach Stackers disponibles en la terminal, en mi caso su valor variará de 0 hasta 8 Reach Stackers disponibles, con esto podremos cambiar en cada simulación el número de Reach Stackers que vamos a emplear para la descarga de los trenes.
- **TrenesenTotal:** es un parámetro de tipo integer que nos indica la cantidad total de trenes que se van a generar en la simulación, en mi caso este número variará desde 4 hasta 12 trenes, con esto podremos cambiar en cada simulación el número de Reach Stackers que vamos a emplear para la descarga de los trenes.
- **VagonesenTotal:** es un parámetro de tipo integer que nos indica la cantidad total de vagones que se van a generar en la simulación, en mi caso este número variará desde 2 hasta 26 vagones, se establece este límite porque en España no está permitido tener trenes con una longitud mayor de 500 metros, con esto podremos variar en cada simulación el número de Reach Stackers que vamos a emplear para la descarga de los trenes.
- **ViasenTotal:** es un parámetro tipo integer que nos indica la cantidad total de vías disponibles en cada simulación, este valor variará desde 1 hasta 4.
- **ModoparaDescargar:** es un parámetro de tipo integer que su único propósito es establecer el funcionamiento de las Reach Stacker,
  - Si el **ModoparaDescargar** tiene valor 0 las Reach Stacker descargaran los trenes de uno en uno, es decir, hasta que una Reach Stacker no haya terminado de descargar el vagón y haya vuelto a la zona de Reach Stackers no saldrá la siguiente, o saldrá la misma Reach Stacker dependiendo de donde tenga que ir.
  - Si el **ModoparaDescargar** tiene valor 1 las Reach Stacker descargaran todas a la vez, es decir, saldrá una detrás de otra sin esperar a que el otro acabe de descargar el vagón, esto hace que la descarga sea más rápida. Además, este modo hace que las playas de carga se llenen solamente hasta la mitad. Una vez llega a la mitad de carga la playa 1 pasan a descargarse los vagones a la playa 2, una vez se ha llenado hasta la mitad la playa 2 las Reach Stackers comienzan a llenar la playa 3, una vez llenada la playa 3 las Reach Stackers comienzan a llenar de forma descendente las playas de carga.
  - Si el **ModoparaDescargar** tiene valor 2 las Reach Stacker descargaran todas a la vez, es decir, saldrá una detrás de otra sin esperar a que el otro acabe de descargar el vagón, esto hace que la descarga sea más rápida. Además, este

modo hace que las playas de descarga se rellenen completamente de abajo a arriba. Primero, se llena completamente la playa 1, una vez llena, se pasa a llenar la playa 2, una vez llena, se pasa por último a llenar la playa 3.

- Si el **ModoparaDescargar** tiene valor 3 las Reach Stacker descargarán todas a la vez, es decir, saldrá una detrás de otra sin esperar a que el otro acabe de descargar el vagón, esto hace que la descarga sea más rápida. En este modo lo que se hace es asignar las vías a una playa de descarga. La vía 0 tiene asignada la playa de descarga 3, la vía 1 tiene asignada la playa de descarga 2 y las vías 2 y 3 tienen asignadas la playa de descarga 3, así se consigue que las Reach Stacker descarguen con mayor velocidad al tener la playa de descarga más cerca de la vía.

Dentro del agente principal llamado TMZGZ utilizaremos la función excelFile para enlazar el archivo Excel donde leeremos de la página Cargar el orden, el vagón y el color mediante el agente LeeListadeExcel.

Para poder obtener los resultados utilizaremos un evento llamado ResultadosHojaExcel que será el encargado de escribir los resultados de la descarga en una página dentro del mismo Excel.

Utilizaremos 3 colecciones de variables:

- **colecciónVías:** es la encargada de almacenar todas las vías que va a emplear el programa
- **colecciónPtoVia:** es la encargada de almacenar todos los puntos de vía donde pararan los trenes.
- **colorSamples:** es la variable encargada de almacenar todos los colores posibles que puedan tener los contenedores, su valor varía de 1 a 16.
- **Bloques:**
  - **recursoEstación:** es el encargado de controlar mediante los bloques la cantidad de trenes que hay dentro de la terminal, a este bloque se le asigna su valor máximo como el valor que hemos escogido en cuanto a vías disponibles.
  - **reaFleet:** es el bloque encargado del movimiento de las Reach Stacker, a este bloque le asignamos el cuadrante en azul, que será la zona donde aparecerán las Reach Stacker en la simulación.

Para ser capaces de que la simulación funcione tenemos que enlazar los agentes, el modelado y la lógica. Estos tres están enlazados entre sí mediante la lógica de la terminal. Mediante estos bloques logramos combinar el agente Trenes con el agente CabezaYVagones en la lógica del tren. En la lógica de descarga conseguimos unir los agentes LeeListadeExcel, LContenedores y ReachStackers mediante los bloques lógicos. Dentro de cada bloque encontramos el tipo de agente que controla ese bloque, así que dependiendo de la función del bloque tendrá asignado un agente u otro. Los bloques lógicos de la terminal también tienen opciones dentro de ellos que permiten vincular las vías, los distintos puntoVias y los colores con la terminal.

Además de esto debemos crear tres ViewAreas cuya función principal es poder ver la simulación. La primera llamada view 2D, es la que rodea a toda la terminal dibujada en 2D y nos permite ver la simulación en 2D. La segunda llamada Lógica, que se encarga de que podamos ver los procesos lógicos durante la simulación. Y, por último, la view 3D que nos permite ver en 3D la simulación completa de la terminal mediante una ventana especial de 3D.

### 5.1.2 Agente Trenes.

Como había comentado anteriormente en el Agente tipo Trenes tenemos que seleccionar dentro del agente la velocidad inicial en m/s y cuál es su nombre y función dentro del programa.

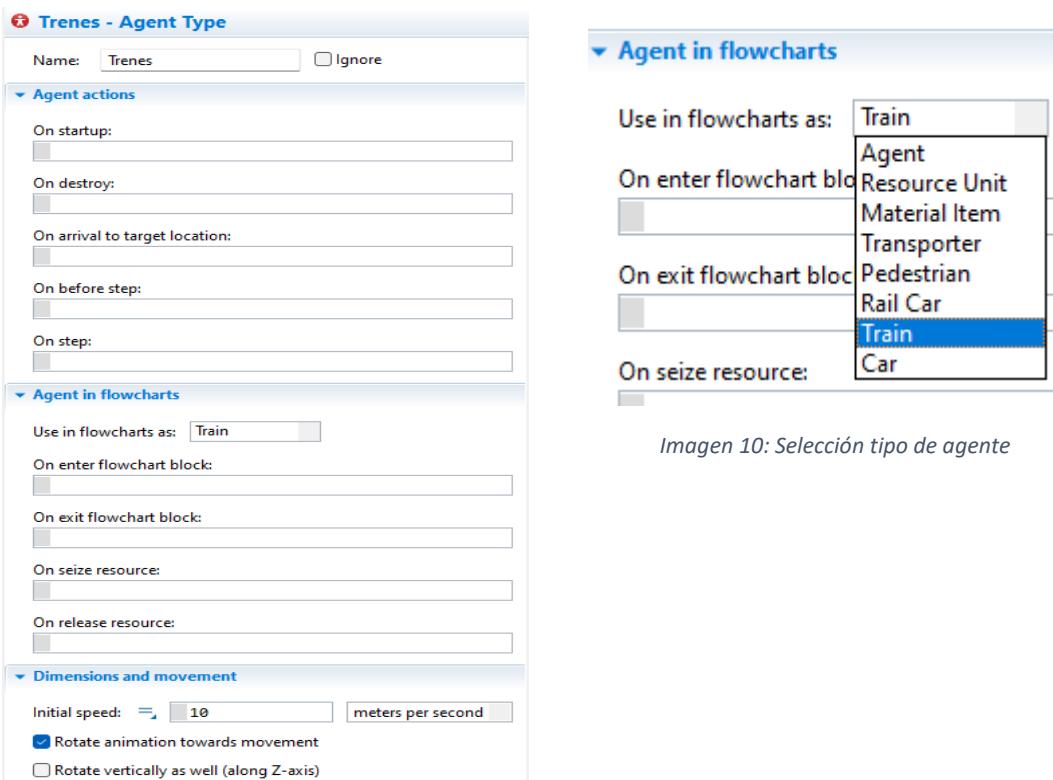


Imagen 10: Selección tipo de agente

Imagen 11: Agente Trenes

Como podemos ver en las imágenes 10 y 11, tenemos que seleccionar que el agente Trenes va a funcionar como un Train dentro del programa, es decir que se comporte como un tren dentro del programa.

Además, dentro de este agente tenemos que generar 3 nuevas variables:

- **Vias:** esta variable tipo integer (número entero) se encarga de informar en que vía está situado el tren.
- **NumTrenEntra:** Es una variable tipo integer y se encarga de numerar los trenes de la estación siendo el primer tren el número cero.
- **VagonADescargar:** Es una variable tipo integer que se encarga de contar los vagones cargados que tiene cada tren.

### 5.1.3 Agente CabezaYVagones.

Como había comentado anteriormente en el Agente tipo CabezaYVagones tenemos que seleccionar dentro del agente la velocidad inicial en m/s al igual que en el agente Trenes y establecer cuál es su nombre y función dentro del programa.

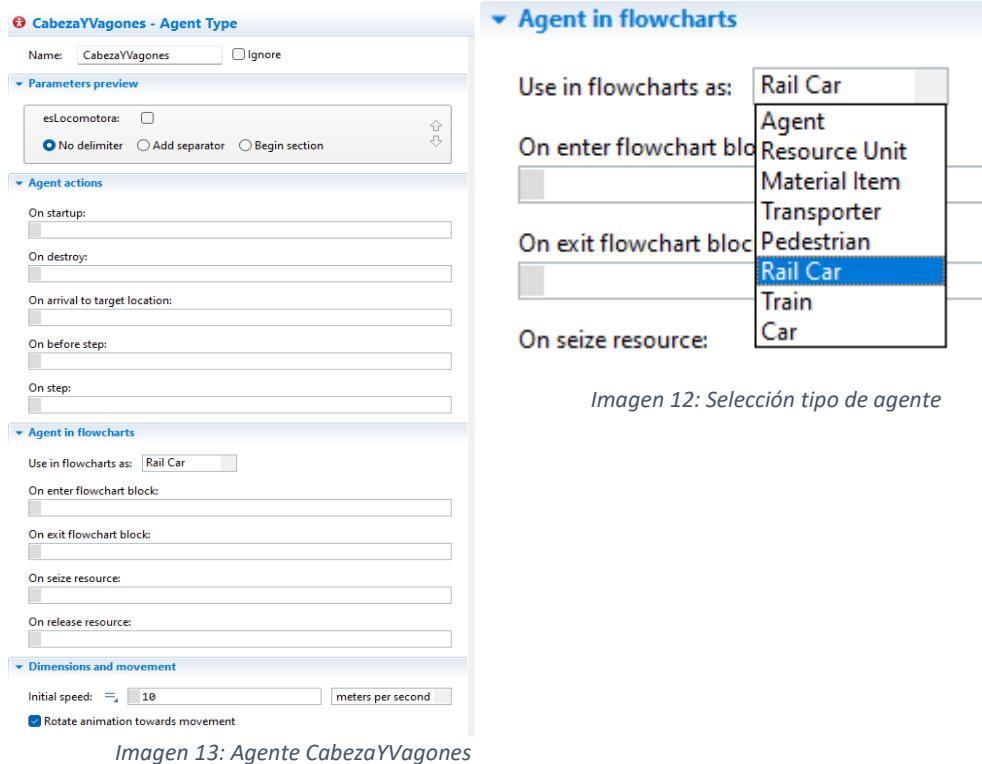


Imagen 12: Selección tipo de agente

Imagen 13: Agente CabezaYVagones

Como podemos ver en las imágenes tenemos que seleccionar que el agente CabezaYVagones va a funcionar como un Rail car dentro del programa, es decir que se comporte como un vagón de tren dentro del programa.

Tenemos dentro de este Agente 3 variables, 2 funciones y un parámetro:

- **esLocomotora:** es un parámetro de tipo boolean (indica si el vagón es True o False dependiendo de la posición que tiene en el tren), en nuestro caso solo pasara True a la posición cero del tren para dibujar la Locomotora del tren.
- **PonColorVagon:** se trata de una función cuyo propósito es establecer color a los vagones del tren tanto en 3D como en 2D.
- **ObNumVagon:** se trata de una función cuyo propósito es obtener el número del vagón.
- **SiCargado:** es un variable de tipo boolean que indica con True o False si el vagón está cargado o no, si el vagón está cargado le pasa al vagón un True, si no, le pasa un False.
- **NumerodelVagon:** es una variable de tipo integer que indica el número de tren y posición del vagón en el tren. Por ejemplo, el **115** nos indica que el vagón está en el Tren **1** en la posición **15**. Si el número es **025** se referirá a que el vagón está en el Tren **0** que por defecto es el primero que entra a la estación y posición 25. Siempre el primer tren que entra en la terminal tiene asignado el número cero.
- **OrdenVagon:** es una variable te tipo LeeListadeExcel, se trata de una orden importada del alguno de los tres Excel de los que hablaremos más tarde.

Para la representación de los vagones y de la locomotora tanto en 2D como en 3D, para ello, tenemos que crear un rectángulo que simula el vagón y la locomotora en 2D y un objeto de la

librería llamado container.dae y locomotora.dae que son los encargados de crear los vagones y la locomotora en 3D.

#### 5.1.4 Agente LContenedores.

Como había comentado anteriormente en el Agente tipo LContenedores tenemos que seleccionar dentro del agente la longitud, la altura y la anchura en metros, también tenemos que seleccionar la velocidad en m/s como en los anteriores.

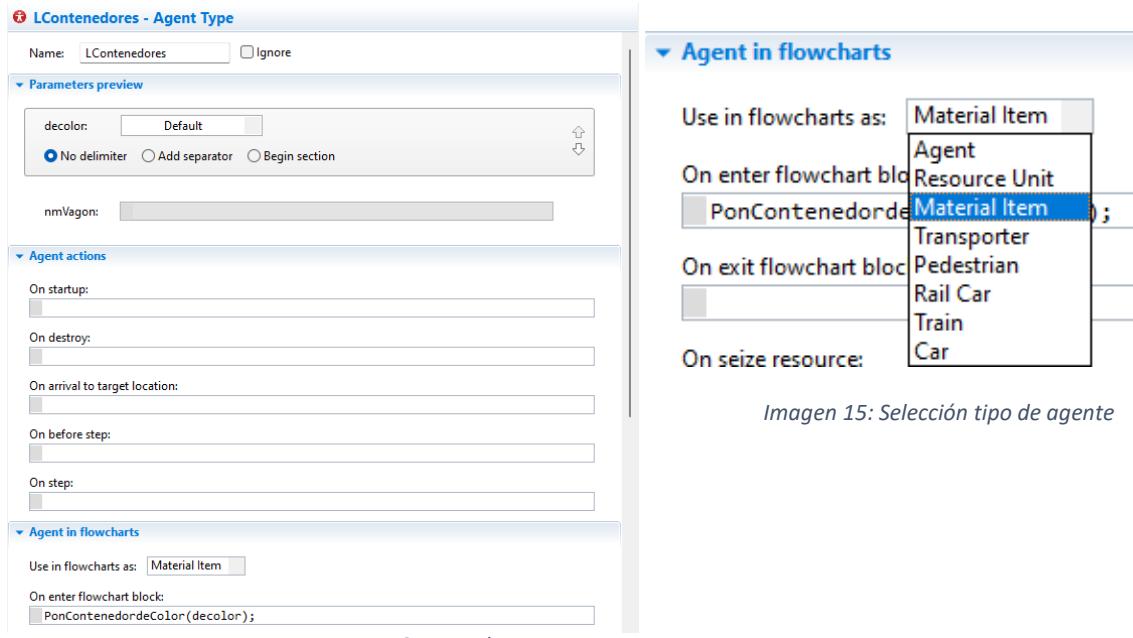


Imagen 14: Agente LContenedores

Imagen 15: Selección tipo de agente

Como podemos observar en las imágenes 12 y 13, tenemos que seleccionar que el agente LContenedores va a funcionar como un Material ítem dentro del programa, es decir que se comporte como un elemento material dentro del programa. Además, como se puede ver se le pasa en el diagrama de flujo la función PonContenedordeColor(decolor) que se encarga de dibujar el contenedor con su color correspondiente.

Tenemos dos parámetros, tres funciones y tres variables dentro del agente LContenedores.

- **NumerodelVagon:** es un parámetro de tipo integer que indica en que número del vagón se encuentra.
- **decolor:** es un parámetro entero que va desde 0 hasta el 15 que indica el color que va a tener dicho contenedor
- **PonContenedordeColor:** es una función que rellena tanto el contenedor de 2D como el de 3D del color dependiendo del número leído por decolor.
- **ObNumVagon:** se trata de una función cuyo propósito es obtener el número del vagón.
- **ObOrdenLista:** se trata de una función cuyo objetivo es obtener el orden leído en la lista que está en el Excel.
- **IniciaTiempo:** es una variable tipo doublé que lo que hace es Iniciar el tiempo desde que aparece el contenedor en la terminal.
- **TerminaTiempo:** es una variable de tipo doublé que lo que hace es parar el tiempo una vez descargado el contenedor
- **Itemdelalista:** es una variable de tipo LeeListadeExcel (agente).

- **SiCargado:** es un variable de tipo boolean que indica con True o False si el vagón está cargado o no, si el vagón está cargado le pasa al vagón un True, si no, le pasa un False.
- **descargadoPor:** es una variable de tipo integer que indica que Reach Stacker se ha utilizado para descargar cada vagón.
- **TiempoDescarga:** es una variable de tipo double que devuelve el tiempo de descarga

### 5.1.5 Agente ReachStackers.

Como había comentado anteriormente en el Agente tipo ReachStackers tenemos que seleccionar dentro del agente la longitud, la altura y la anchura en metros, también tenemos que seleccionar la velocidad en m/s como en los anteriores.

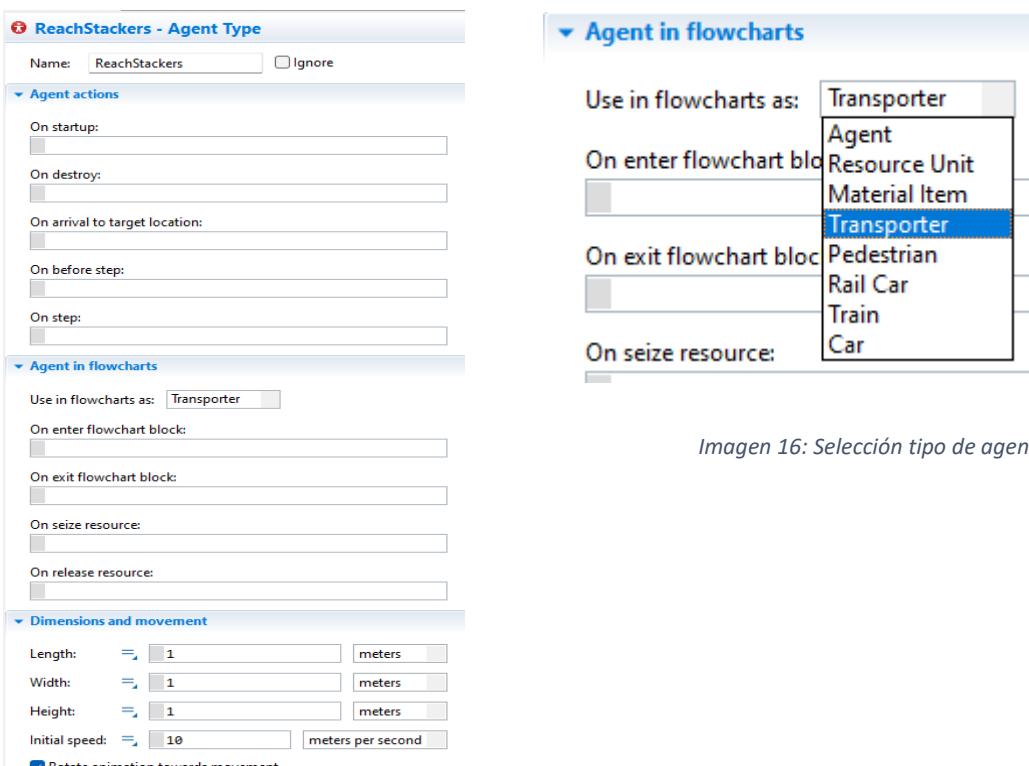


Imagen 17: Agente ReachStackers

Como podemos ver en las imágenes 15 y 16, tenemos que seleccionar que el agente ReachStackers va a funcionar como un Transporter dentro del programa, es decir que se comporte como un elemento que transporta carga dentro del programa.

En este agente no tenemos ninguna variable, función o parámetro adicional. Pero si posee bloques de 3D y 2D que servirán para simular las Reach Stacker en 2D y en 3D.

### 5.1.6 Agente LeeListadeExcel

Como había comentado anteriormente en el Agente tipo LeeListadeExcel tenemos que seleccionar dentro del agente únicamente la velocidad en m/s.

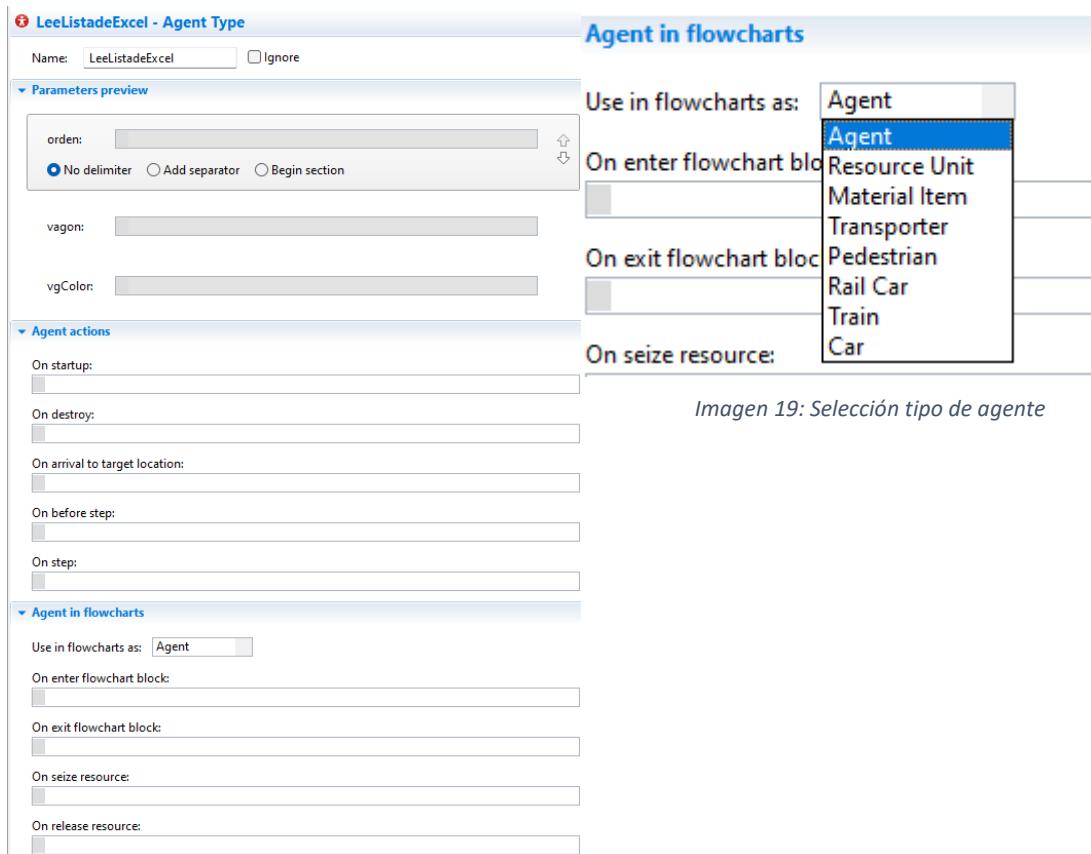


Imagen 18: Agente LeeListadeExcel

Imagen 19: Selección tipo de agente

Como podemos ver en las imágenes 17 y 18, tenemos que seleccionar que el agente LeeListadeExcel va a funcionar como un agente normal dentro del programa, como podemos ver en la imagen 19, además tenemos tres parámetros dentro del agente.

Únicamente tendremos 3 parámetros dentro de LeerListadeExcel:

- **vgColor:** es un parámetro de tipo integer que va del 0 al 15 y asocia un número a un color mediante el colorsamples del agente TMZGZ.
- **Orden:** es un parámetro de tipo integer que indica el número encima de cada contenedor con un circulito amarillo, además indica el orden de descarga que vamos a ejecutar.
- **Vagón:** es un parámetro de tipo integer, su función es identificar el vagón que se tiene que descargar de la misma forma que se ha explicado anteriormente. Por ejemplo, el 115 nos indica que el vagón está en el Tren 1 en la posición 15. Si el número es 025 se referirá a que el vagón está en el Tren 0 que por defecto es el primero que entra a la estación y posición 25.

## 5.2 Lógica de la terminal.

En este apartado se va a explicar el proceso que se ha llevado a cabo para el movimiento de los trenes y para la descarga de los mismos. Esta es la lógica completa de la terminal TMZ y se encuentra realizada en el Agente main o principal llamado TMZGZ.

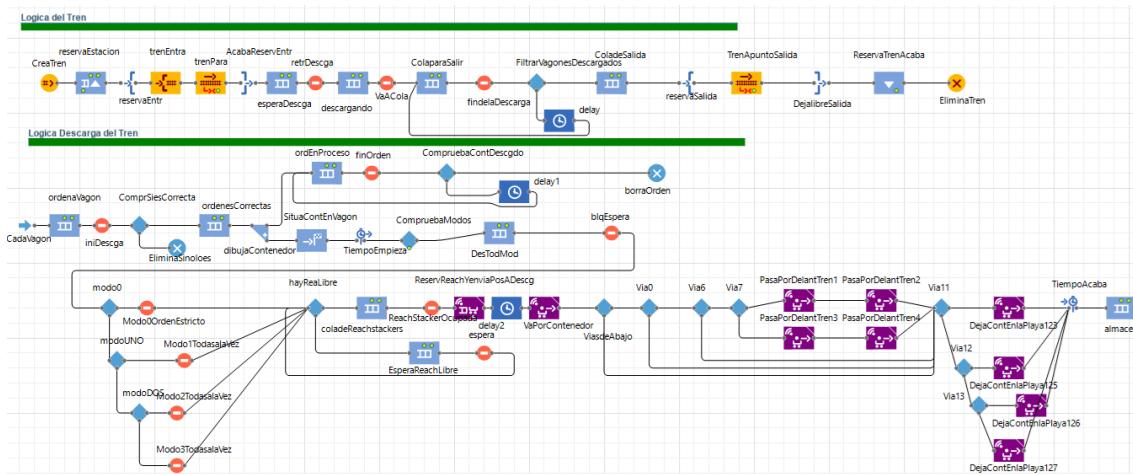


Imagen 20: Lógica de la Terminal Marítima de Zaragoza

Para poder explicarlo mejor vamos a dividir el esquema lógico en distintas Zonas:

### Zona 1:

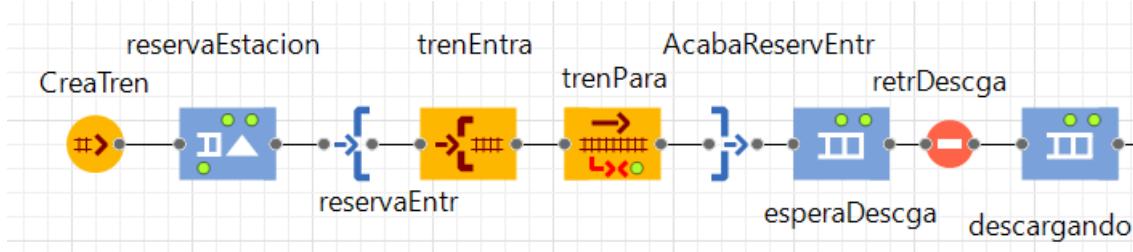


Imagen 21: Lógica del tren 1

En toda esta rama se va a utilizar el Agente tipo **Trenes** ya que es el encargado de todos los trenes de la terminal, asimismo en la herramienta llamada CreaTren haremos uso de la población pbTrenes. Este primer bloque se encarga de generar cada tren con sus vagones correspondientes. El siguiente bloque llamado reservaEstación se encarga de Reservar la estación para ese tren en concreto.

Como la entrada de los trenes se realiza a través de la misma vía, utilizamos la herramienta de reservaEntr, este es un recurso de áreas restringidas, este bloque permite el paso de solo un tren hasta la zona de descarga y reserva esa vía para solo ese tren.

El bloque trenEntra hace que el tren entre desde el punto inicial llamado puntoEntrada hasta el puntoVia correspondiente. Una vez ha llegado hasta el puntoVia que esté libre de los cuatro disponibles.

El bloque AcabaReservEntr es otro bloque que utiliza el recurso de áreas restringidas y lo que hace es desbloquear la vía de entrada ya que el primer tren ya estaría colocado para ser descargado.

El siguiente bloque esperaDescga, este bloque se utiliza principalmente para llenar la estación con los trenes. En nuestro caso, ese valor vendría dado por el parámetro de ViasenTotal, que se trata de un entero que numera la cantidad de vías disponibles. Ejemplo, si ponemos que su valor

tiene que ser 3, la simulación no arrancará hasta que entren los 3 trenes, una vez que estén los tres trenes posicionados para la descarga, ésta se iniciará. Lo que hace el bloque de retrDescga, una vez se alcanza el número de ViasenTotal es abrir el semáforo y pasar al bloque descargando.

Una vez se permite realizar la descarga el tren entra en acción el bloque descargando, este bloque es el encargado de llamar a la lógica de descarga del tren mediante el bloque CadaVagon.

### Zona2:

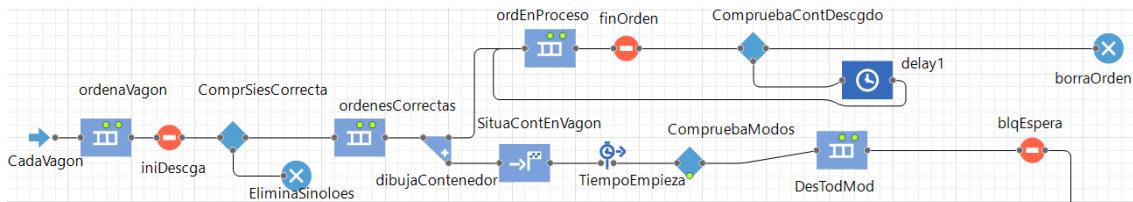


Imagen 22: Lógica de descarga 1

En este punto pasamos del Agente **Trenes** a el Agente **LeeListadeExcel**, este agente va a ser junto a LContenedores y el agente ReachStacker, los encargados de llevar a cabo la descarga de los contenedores.

El bloque CadaVagon es llamado por cada vagón que tiene el Tren, a cada vagón se le pasa el elemento de la LeeListadeExcel que era la que se encargaba de almacenar al vagón.

El siguiente bloque llamado ordenaVagon se encarga de ordenar uno detrás de otro según el orden que se haya leído en LeeListadeExcel. Una vez han sido ordenados todos los vagones, se desbloquea el bloque llamado iniciaDescarga.

El siguiente bloque ComprSiesCorrecta se encarga de comprobar si la petición de descarga que le ha llegado proviene de un vagón existente, este bloque se dibuja principalmente para evitar errores. Si el vagón no existe, directamente lo elimina en el bloque EliminaSinoloes.

Una vez ha pasado este filtro, llega al bloque llamado ordenesCorrectas en el cual se almacenan todas las órdenes correctas que han pasado el filtro del bloque ComprSiesCorrecta.

Ahora llegamos al bloque llamado dibujaContenedor, este bloque se encarga de transformar cada ítem leído del Excel del Agente tipo LeeListadeExcel en el Agente LContenedores, pasando el número de vagón, el color y el número de orden.

En la salida de este bloque se aprecian dos ramas una que llamaremos Zona 3(rama superior) y la otra que será la Zona 4 y Zona 5 (rama inferior).

### Zona 3:

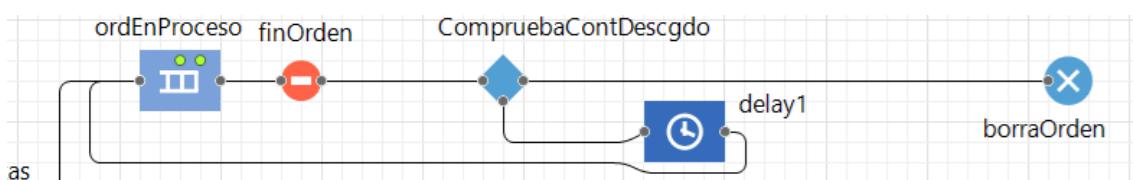


Imagen 23: Lógica de descarga 2

En esta rama superior, seguimos con el tipo de agente de **LeeListadeExcel**, todas las órdenes se almacenan en ordEnProceso. Todas estas órdenes están paradas hasta que el semáforo finOrden se abra. Este semáforo solo lo puede abrir el almacén, el bloque almacén que luego veremos abre el semáforo cuando detecta que ese contenedor ha sido ya descargado. Es decir, para cada contenedor deja pasar solo una orden. El bloque CompruebaContDescgdo es un if (condicional) que comprueba que, si el contenedor en cuestión ha sido descargado con éxito, lo elimina. Si no

ha sido descargado se aplica un delayCompba (esta principalmente porque sin él me daba errores) y el contenedor vuelve al bloque ordEnProceso. Una vez ha pasado el filtro de CompruebaContDescgdo significa que el contenedor ha sido descargado en el almacén y se borra la orden de descarga de ese contenedor.

**Zona4:**

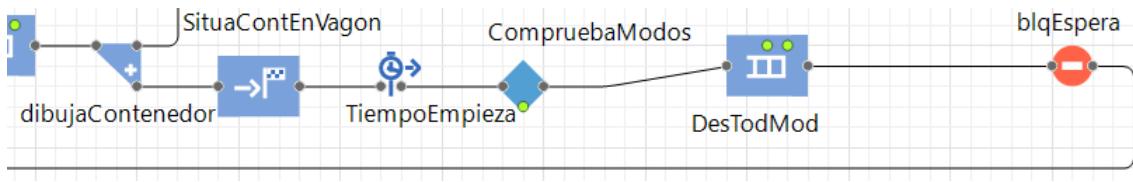


Imagen 24: Lógica de descarga 3

El bloque dibujaContenedor lo que hace es transformar el agente de **LeeListadeExcel** en el agente **LContenedores**, el signo (+) del bloque indica que rama es la que se convierte. En este caso, la rama que se convierte en LContenedores es la de abajo, que es la que estamos analizando.

Pasamos al bloque SiutaContEnVagon, este bloque se encarga de situar cada vagón generado por el agente LContenedores en cada vagón del tren. El siguiente bloque llamado TiempoEmpieza activa el temporizador y empieza a correr el tiempo de descarga de ese vagón hasta que llegue al bloque TiempoAcaba que detendrá ese temporizador, así obtendremos el tiempo que tarda ese vagón en ser descargado.

El siguiente bloque llamado CompruebaModos se encarga de comprobar el modo en el que estamos, si el modo es 0, 1, 2 o 3 la función continua hasta el bloque DesTodMod. En el que se encuentran los cuatro modos de descarga, ahí se almacenan todos los LContenedores a descargar. Tenemos un blqEspera que se encontrará bloqueado cuando todas las Reach Stackers estén ocupadas.

**Zona5:**

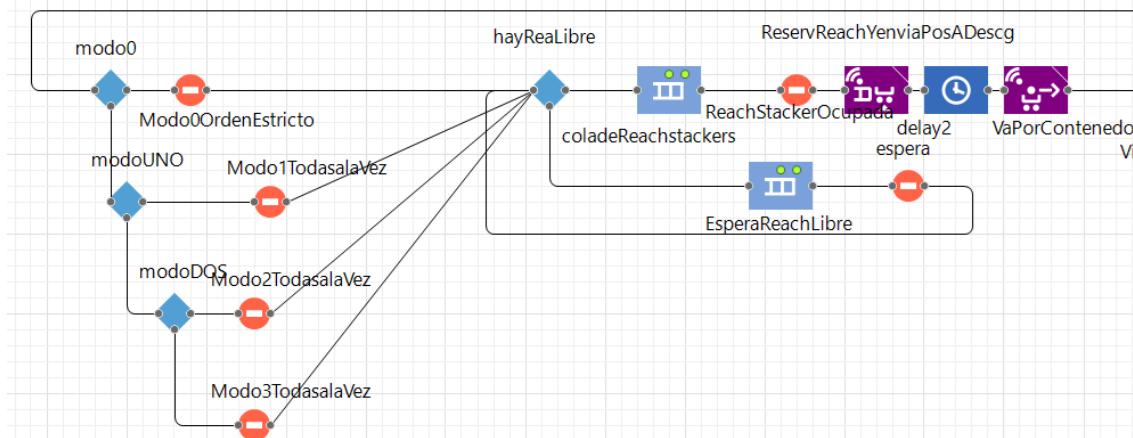


Imagen 25: Lógica de descarga 4

En esta zona seguimos trabajando con el Agente **LContenedores**.

El primer bloque con el que nos encontramos se llama modo0 el cual se encarga de preguntar a el parámetro ModoparaDescargar que modo de descarga estamos empleando. Si el modo que hemos elegido es 0 entonces pasaremos por el semáforo llamado Modo0OrdenEstricto, si su valor no es cero, pasaremos al bloque inferior llamado modoUNO. Este bloque a su vez hace lo mismo que el bloque modo0, mira qué modo estamos utilizando en el parámetro ModoparaDescargar y si su valor es uno, pasaremos al semáforo Modo1Todasalavez. De nuevo,

si su valor no es uno, entonces pasaremos al bloque modoDOS que actúa de la misma forma si el parámetro elegido en la descarga es dos, entonces pasaremos al semáforo llamado Modo2TodasalaVez, en cambio si su valor no es 2, pasaremos al semáforo Modo3TodasalaVez.

El bloque hayReaLibre mira si el semáforo llamado ReachStackerOcupada está bloqueado o no, si está bloqueado significa que no hay Reach Stacker disponibles y pasa al bloque llamado EsperaReachLibre, cuando se libera una nueva Reach Stacker, el semáforo espera se abre y vuelve a preguntar en el bloque hayReaLibre si hay alguna Reach Stacker libre para realizar la descarga. Todos estos bloques llamados semáforos se controlan mediante el bloque llamado almacén que veremos al final.

En el bloque llamado coladeReachStacker lo que se hace es guardar una Reach Stacker para descargar el vagón. El siguiente bloque semáforo llamado ReachStackerOcupada se abre y se cierra dependiendo de la disponibilidad de Reach Stackers, y se bloqueará cuando estén todas ocupadas. El siguiente bloque llamado ReervReachYenviaPosADescg se encarga de reservar la ReachStacker y envía la Reach Stacker a la posición del contenedor que va a tener que descargar. El siguiente bloque llamado VaPorContenedor se encarga de cargar el contenedor en la ReachStacker. Entre medio de ambos bloques hay un delay en segundos (a escala) simulando el tiempo que tardan en levantar el contenedor con cada Reach Stacker, además este delay evita que las Reach Stackers se acumulen cuando llegan a las playas de descarga.

### Zona6:

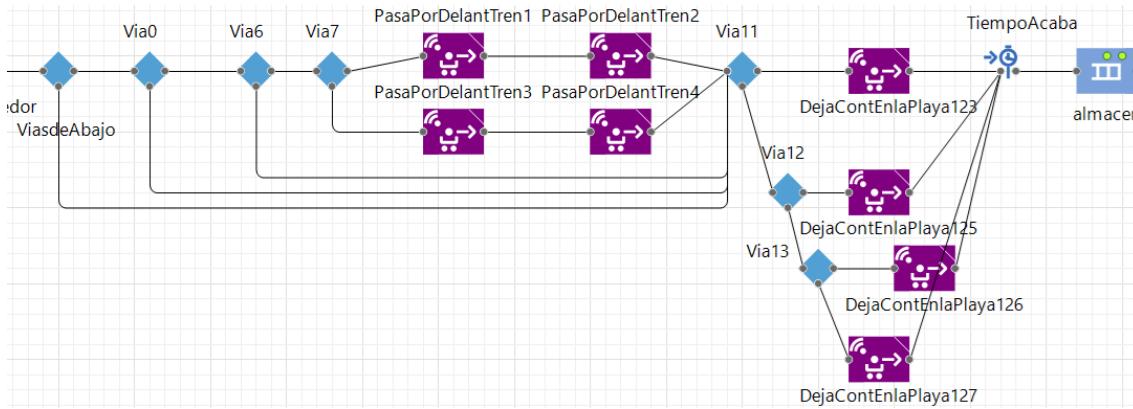


Imagen 26: Lógica de descarga 5

En esta zona seguimos trabajando con el agente tipo **LContenedores**.

El primer bloque llamado Vias de abajo se encarga de comprobar que cuando se está descargando los trenes de abajo pase directamente al bloque de Vias11.

El bloque Vias0 comprueba en que vía se está realizando la descarga si su valor es cero pasa directamente al bloque Vias11.

El bloque Vias6 comprueba en que vía se está realizando la descarga si su valor es uno pasa directamente al bloque Vias11.

Estos tres bloques se dibujan ya que las ReachStacker son capaces de descargar dos trenes a la vez desde un lado, por lo que una vez han cargado el contenedor se van directos a la playa correspondiente para descargarlo sin tener que hacer el trayecto, que tendrían que hacer las Reach Stackers para la vía=2 y vía=3.

El bloque llamado Via7 se encarga de comprobar si estamos en la vía dos. Si estamos en la vía dos, las ReachStackers se encargarán de esquivar el tren por delante para ir a descargar a las playas correspondientes, si no estamos en la vía dos (rama inferior), la Reach Stacker se moverá a otros dos puntos creados delante del tren para esquivarlo y no atravesarlo por encima.

Todos los bloques llamados PasaPorDelantTren1, PasaPorDelantTren2, PasaPorDelantTren3 y PasaPorDelantTren4, se encargan de mover las ReachStackers por una zona real, esquivando los trenes y no cruzando por encima (simulando la realidad).

El bloque Via11 se encarga de comprobar en qué modo estamos, si estamos en cualquier modo que no sea el modo tres, seguimos por la rama superior y llegamos al bloque llamado DejaContEnlaPlaya123. Si el modo tiene valor tres, entonces iremos a playa que toque dependiendo de la vía en la que estemos recogiendo el contenedor a descargar. El bloque Via12 se encarga de comprobar en qué vía estamos, si estamos en la vía 0, entonces la ReachStacker irá a descargar mediante el bloque DejaContEnlaPlaya125 a la playa de descarga 1, si no estamos en la vía=0, el siguiente bloque llamado Via13 se encarga de comprobar si estamos en la vía 1, si estamos en la vía 1, entonces la ReachStacker irá a descargar a la playa de descarga 2 mediante el bloque llamado DejaContEnlaPlaya126. Y, por último, si no estamos en la vía=1 entonces por descarte estaremos en la vía 2 o en la vía 3, y si estamos en una de esas dos vías, la ReachStacker irá a descargar a la playa de descarga 3 mediante el bloque DejaContEnlaPlaya127. Una vez hemos realizado la descarga del contenedor llegamos al bloque llamado TiempoAcaba que se encarga de parar el tiempo de descarga de ese vagón.

Por último, tenemos el bloque almacen que se encarga de gestionar los semáforos de toda la lógica y también se encarga de guiar a las ReachStackers para saber en qué playa y en qué posición debe descargar cada ReachStacker.

### Zona7:

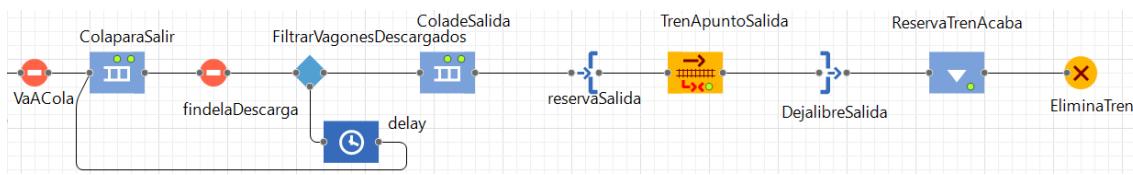


Imagen 27: Lógica del tren 2

En esta última zona volvemos al agente tipo **Trenes**, también volvemos a la lógica del tren.

Una vez se ha descargado un tren por completo vamos al bloque llamado ColaparaSalir, este bloque se encarga de almacenar los trenes hasta que se haya completado la descarga de todos sus vagones. El semáforo findelaDescarga solo se abrirá cuando se haya descargado todos los vagones de ese tren.

Una vez se abre el semáforo llamado findelaDescarga, pasamos al bloque llamado FiltrarVagonesDescargados, que se encarga de comprobar que el tren haya sido descargado por completo, si no ha sido descargado por completo se vuelve a bloque ColaparaSalir con un delay.

Cuando se ha comprobado que ha sido descargado por completo, pasamos al bloque llamado ColadeSalida, este bloque almacena los trenes que han sido descargados por completo y quieren salir de la terminal. Además, se encarga de esperar a que la vía de salida esté libre para que el tren que ha sido descargado pueda salir.

Llegamos al bloque `reservaSalida` que se encarga de reservar la vía a un solo agente, en este caso un solo tren, mediante el bloque `TrenApuntoSalida`, el tren va hasta el punto de vía llamado `puntoSalida`.

Una vez el tren ha abandonado la terminal, llegamos al bloque `DejalibreSalida` que se encarga de volver a liberar la vía de salida. El bloque `ReservaTrenAcaba` lo que hace es reducir en uno el número de trenes que hay en la terminal permitiendo que otro tren pueda entrar una vez haya salido el anterior.

Por último, el bloque `EliminaTren` se encarga de borrar el tren de la simulación.

### 5.3 Simulador

Para poder elegir los parámetros dentro de la simulación hay que crear una pantalla en el apartado de simulación en Anylogic.

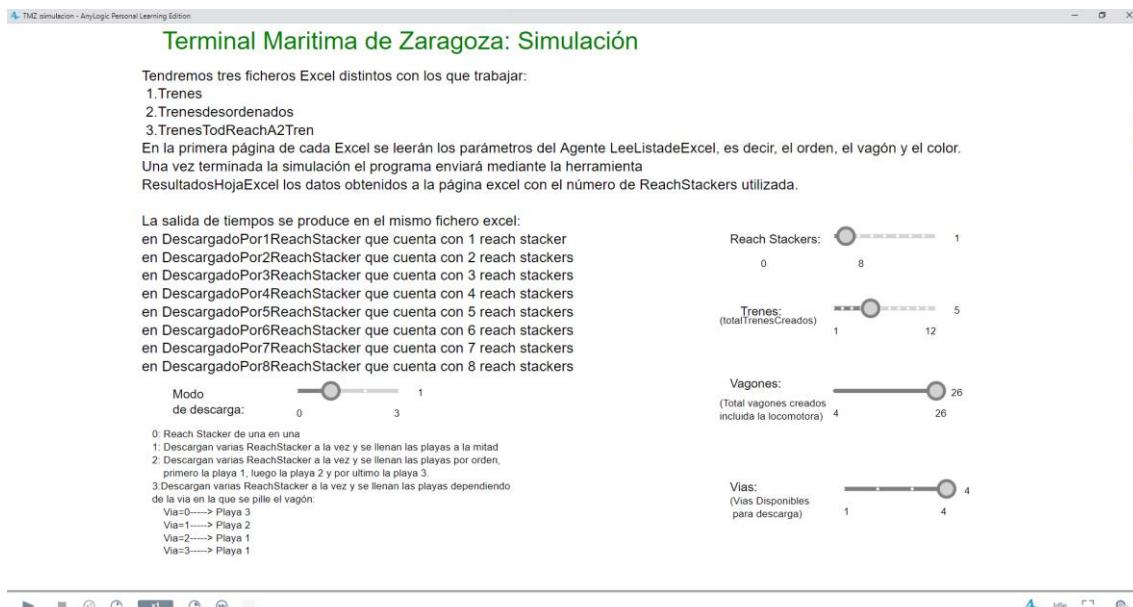


Imagen 28: Ventana de Simulación

A través de esta ventana vamos a modificar todos los parámetros del agente `TMZGZ`. Se puede modificar hasta 5 parámetros dentro de la simulación mediante un Slider.

Antes de simular tenemos que introducir los siguientes parámetros.

- Número de ReachStackers que queremos en la terminal.
- Número de trenes que queremos que entren en la terminal.
- Número de vagones que queremos que tenga cada tren.
- Número de vías que pueden ocupar los trenes dentro de la terminal.
- Modo de descarga el cual dependiendo de su valor entre 0 y 3 realizará la descarga de una manera u otra.

Imágenes de la simulación en 2D:

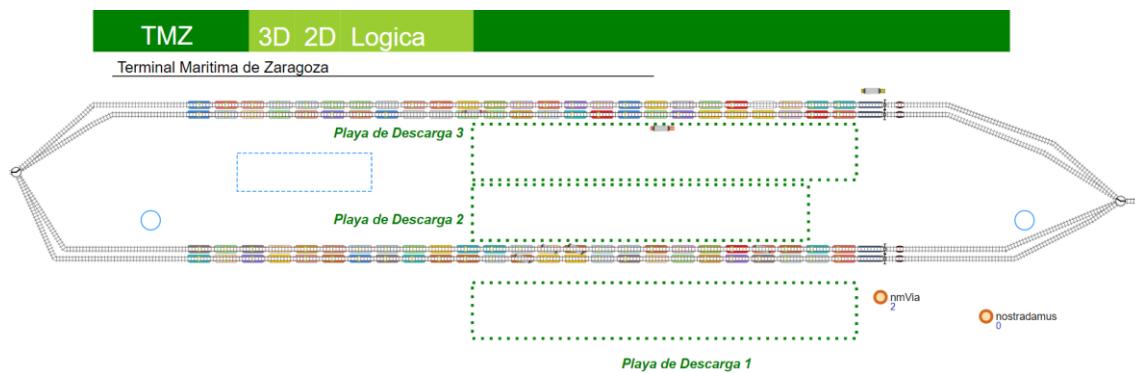


Imagen 29: Simulación en 2D

Imágenes de la simulación en 3D:

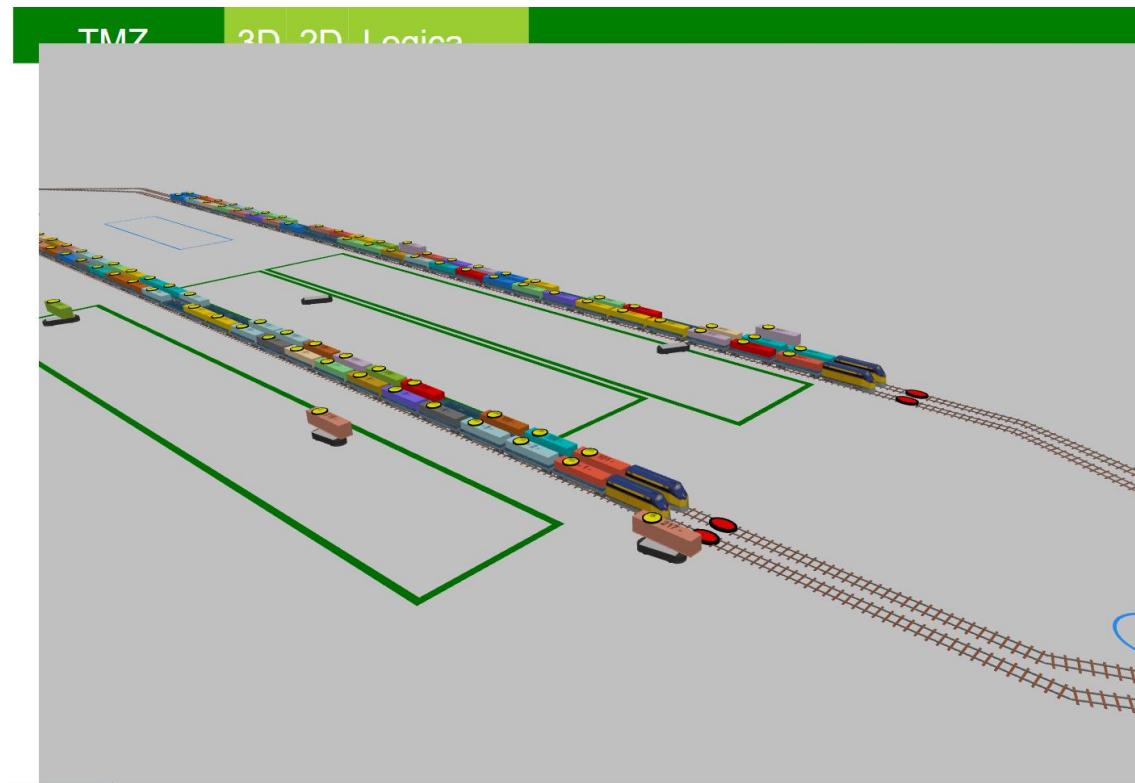


Imagen 30: Simulación en 3D

En las siguientes imágenes vamos a ver los diferentes modos de descarga de la terminal una vez acabada la simulación. En la imagen 29 podemos ver la simulación de descarga de la terminal en 3D, en ella podemos diferenciar las locomotoras de los vagones, también podemos ver como cargan y descargan las Reach Stackers.

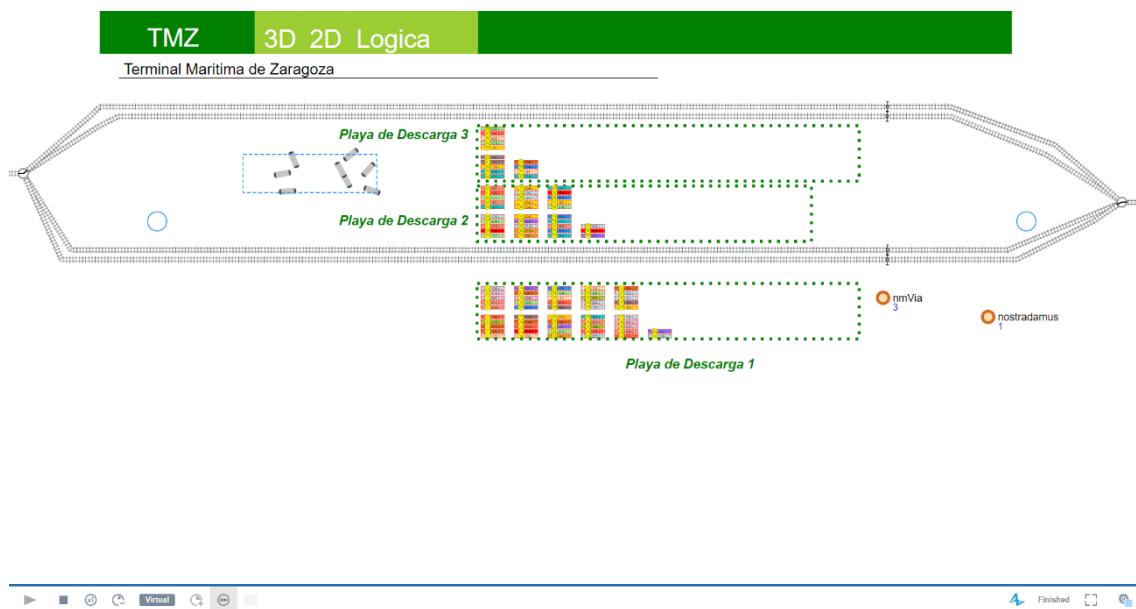
Modo de descarga =1:


Imagen 31: Modo de descarga 1

En esta imagen en 2D podemos ver el modo de descarga uno, donde se descarga primero en la playa uno hasta que se llena hasta la mitad. Una vez se ha descargado hasta la mitad, las Reach Stacker pasan a descargar en la playa de descarga dos, cuando esta se ha llenado hasta la mitad, las Reach Stacker pasan a descargar en la playa tres hasta que se llene.

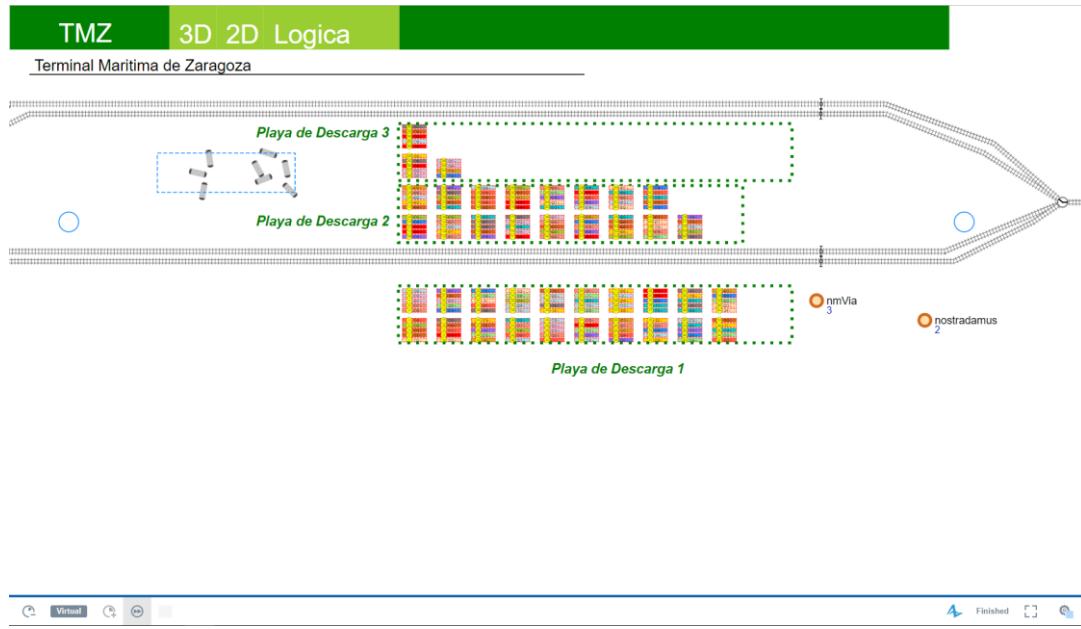
Modo de descarga =2:


Imagen 32: Modo de descarga 2

En esta imagen podemos ver el modo de descarga dos, en este modo, la descarga se realiza hasta que se llenan las playas de descarga, primero llena la playa de descarga uno, cuando ésta está al 90%, pasa a descargar en la playa de descarga dos que de la misma manera cuando se llena al 90%, pasa a descargar a la playa 3.

Modo de descarga =3: en esta imagen podemos ver el modo de descarga tres una vez terminado.

Como se puede apreciar en la imagen, la playa de descarga 3 se llena casi por completo debido a que tiene asignadas las vías 2 y 3 como descarga, en cambio, tanto la playa de descarga 2 como la playa de descarga 1, únicamente tienen una vía asignada a cada una, por eso solo se llenan hasta la mitad.

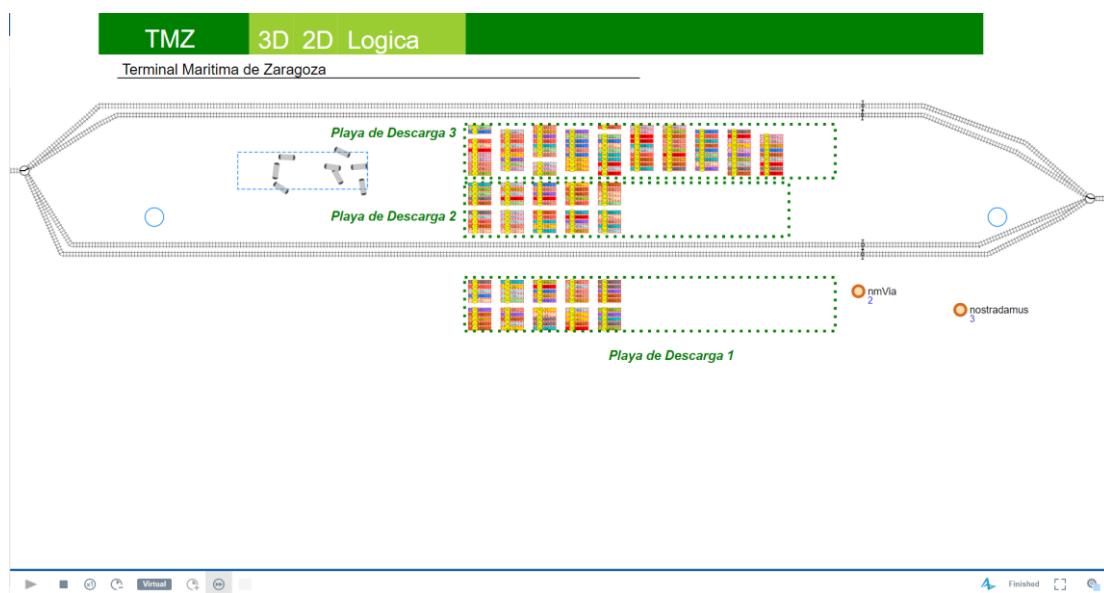


Imagen 33: Modo de descarga 3

Cabe destacar que la simulación tiene una duración total de 59 minutos ya que en la versión de prueba solo se nos permite simular 1 hora. Si nos pasamos de ese valor, el programa tiene problemas para devolver los resultados obtenidos en la simulación en el Excel, por lo tanto, se ha aplicado una escala a los tiempos obtenidos multiplicando el tiempo x24 para obtener el tiempo (sobre 59 minutos de la simulación) en un día.

## 6. Configuración de la tabla de datos

Para poder leer los datos mediante el agente LeeListadeExcel necesitamos un Excel que contenga una hoja llamada Cargar.

En esta página tendremos tres columnas:

- **vgColor:** es un parámetro de tipo integer que va del 0 al 15 y asocia un número a un color mediante el colorsamples que le hayamos asignado del agente TMZGZ. Estos son los colores empleados. Cada cuadradito tiene un número el cual está asignado a un color, en cuanto se lee ese número se le asigna el color correspondiente al contenedor. En la imagen 34, tenemos los 15 colores que hemos escogido simulando los distintos tipos de contenedores que existen al ser descargados ya que no todos los contenedores tienen la misma forma o peso.



Imagen 34: Colores de los vagones

- **Orden:** es un parámetro de tipo integer que indica el número encima de cada contenedor con un circulito amarillo.
- **Vagón:** es un parámetro de tipo integer, su función es identificar el vagón que se tiene que descargar de la misma forma que se ha explicado anteriormente. Por ejemplo, el **115** nos indica que el vagón está en el Tren **1** en la posición **15**. Si el número es **025** se referirá a que el vagón está en el Tren **0** que por defecto es el primero que entra a la estación y posición 25.
- **DescargadoPorXReachStackers:** en cada Excel tendremos siete páginas con este nombre siendo X el número de ReachStackers que vamos a emplear en la simulación.

Como en el programa vamos a variar de entre 1 a 25 vagones, en el Excel solo vamos a tener de 1 a 25 vagones por centena. Es decir, el primer tren al que se le asigna el valor cero, va a tener en la columna Vagón sus vagones numerados del 1 al 25. En el tren 1 tendremos valores de la columna Vagón el 101 al 125, en el tren 2 tendremos valores de la columna vagón del 201 al 225 y en el tren 3 tendremos valores de la columna vagón del 301 al 325. Como podemos introducir en los parámetros de la simulación hasta 12 trenes, tendremos esto mismo repetido en cada centena hasta la centena 12. (401 al 425, 501 al 525, 601 al 625, 701 al 725, 801 al 825, 901 al 925, 1001 al 1025, 1101 al 1125 y 1201 al 1225).

Para realizar todas las simulaciones he empleado tres Excel distintos.

El primero llamado **Trenes**, el cual contiene una descarga totalmente en orden.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Orden	Vagon	VgColor											
2	1	1	8											
3	2	2	13											
4	3	3	11											
5	4	4	7											
6	5	5	6											
7	6	6	11											
8	7	7	2											
9	8	8	3											
10	9	9	10											
11	10	10	11											
12	11	11	1											
13	12	12	6											
14	13	13	5											
15	14	14	13											
16	15	15	4											
17	16	16	6											
18	17	17	4											
19	18	18	4											
20	19	19	12											
21	20	20	13											
22	21	21	15											
23	22	22	11											
24	23	23	1											
25	24	24	6											
26	25	25	8											
27	101	101	1											
28	102	102	3											
29	103	103	7											
30	104	104	6											
31	105	105	4											
32	106	106	6											
33	107	107	13											
34	108	108	5											
35	109	109	14											
36	110	110	15											
37	111	111	2											
38	112	112	10											

Cargar DescargadoPor1ReachStackers DescargadoPor2ReachStackers DescargadoPor3ReachStackers DescargadoPor4ReachStackers DescargadoPor5ReachStackers ...

Imagen 35: Pantalla Cargar Excel Trenes

Como podemos ver la columna Vagón está completamente en orden, ya que tras la orden 25, la siguiente será directamente la orden 101, aunque daría exactamente igual poner las órdenes del 1 al 500 en esa columna ya que seguiría leyéndolas en orden.

En la parte de abajo del Excel, imagen 35, vemos distintas hojas con el nombre DescargadoPor0ReachStacker, el número en rojo nos indica el número de ReachStackers empleadas en la simulación, por lo tanto, dependiendo de las ReachStackers que elijamos nos introducirá los datos en una hoja o en otra. En las hojas de datos podremos ver los parámetros empleados, así como el tiempo total empleado en la descarga de esos trenes.

Vagon:	Inicio:	Fin:	Descarga:	Orden:	Por:	Parámetros	
6	6,762916667	7,789036971	1,026120305	6	2	Total trenes: 4	
8	6,762916667	8,022774659	1,259857993	8	5	Vagones (inc.loco) / tren 26	
7	6,762916667	8,271512985	1,508596319	7	7	Vías utilizadas: 4	
3	6,762916667	8,472046619	1,709129952	3	6	Num reach stackers: 8	
5	6,762916667	8,612336054	1,849419387	5	1	Modo ejecución: 1	
2	6,762916667	8,803668145	2,040751478	2	4		
4	6,762916667	8,977767395	2,214850728	4	8	Vagones descargados: 100	
1	6,762916667	9,118398288	2,355481621	1	3		
9	6,762916667	9,234551507	2,47163484	9	2		
10	6,762916667	9,368062723	2,605146057	10	5		
11	6,762916667	9,483306244	2,720389577	11	7		
12	6,762916667	9,592010398	2,829093731	12	6		
13	6,762916667	9,658093651	2,895176985	13	1		
14	6,762916667	9,799171742	3,036255076	14	4		
15	6,762916667	9,970735669	3,207819002	15	8		

Imagen 36: Pantalla DescargadoPorXReachStacker Resultados

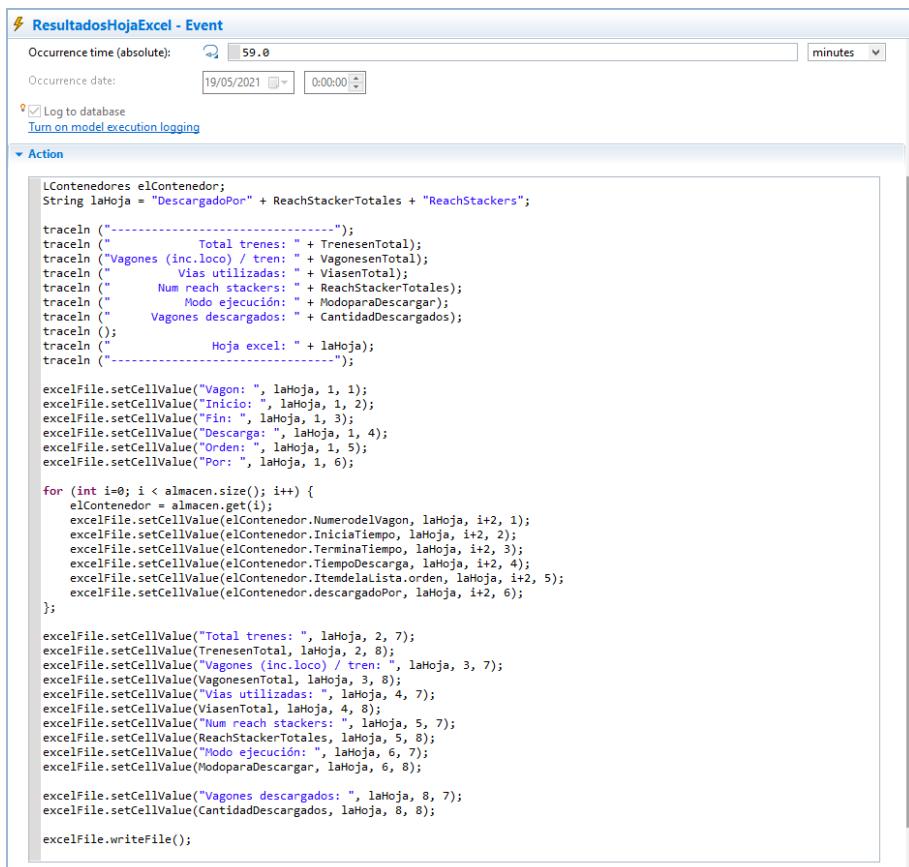
En la imagen 36 podemos ver cómo es la hoja de resultados para cada simulación. El tiempo que tendremos que analizar para saber el tiempo total de descarga es la columna Descarga. Ese tiempo no es el real, sino que hay que aplicarle la escala que veremos más tarde.

Columnas:

- Vagon: indica el vagón que ha sido descargado.
- Inicio: indica el momento en el tiempo en el cual se inicia la orden de descarga del vagón.
- Fin: indica el tiempo en el que se acaba la descarga del vagón.
- Descarga: Es la resta del Fin – Inicio.
- Orden: es el orden que ha seguido para descargar, sigue este orden debido a que las ReachStackers se generan de forma aleatoria en el ReaFleet (Zona donde están situadas las Reach Stackers), por lo tanto, algunas llegan antes que otras, por ello sigue el orden de llegada, pero en orden.
- Por: te indica que Reach Stacker ha sido la encargada de descargar ese vagón.
- Parámetros: te informa de los parámetros escogidos en esa Simulación.

Todas las páginas con este nombre contienen exactamente lo mismo en los tres Excel. Si modificas los parámetros y vuelves a ejecutar el programa se sobrescriben los datos que había anteriormente guardados.

Para poder crear estas páginas con estos datos hemos tenido que programar en Anylogic la salida de estos datos mediante una herramienta llamada Event, a la cual le asignamos el nombre de ResultadosHojaExcel, esta herramienta se encarga de escribir los resultados que aparecen en la imagen 36.



```

ResultadosHojaExcel - Event
Occurrence time (absolute): 59.0
Occurrence date: 19/05/2021 0:00:00 minutes
Log to database
Turn on model execution logging

Action

LContenedores elContenedor;
String laHoja = "DescargadoPor" + ReachStackerTotales + "ReachStackers";

traceln ("-----");
traceln ("Total trenes: " + TrenesTotal);
traceln ("Vagones (inc.loco) / tren: " + VagonesenTotal);
traceln ("Vías utilizadas: " + ViasenTotal);
traceln ("Num reach stackers: " + ReachStackerTotales);
traceln ("Modo ejecución: " + ModoparaDescargar);
traceln ("Vagones descargados: " + CantidadDescargados);
traceln ();
traceln ("Hoja excel: " + laHoja);
traceln ("-----");

excelFile.setCellValue("Vagon: ", laHoja, 1, 1);
excelFile.setCellValue("Inicio: ", laHoja, 1, 2);
excelFile.setCellValue("Fin: ", laHoja, 1, 3);
excelFile.setCellValue("Descarga: ", laHoja, 1, 4);
excelFile.setCellValue("Orden: ", laHoja, 1, 5);
excelFile.setCellValue("Por: ", laHoja, 1, 6);

for (int i=0; i < almacen.size(); i++) {
    elContenedor = almacen.get(i);
    excelFile.setCellValue(elContenedor.NumerodelVagon, laHoja, i+2, 1);
    excelFile.setCellValue(elContenedor.IniciaTiempo, laHoja, i+2, 2);
    excelFile.setCellValue(elContenedor.Terminatiempo, laHoja, i+2, 3);
    excelFile.setCellValue(elContenedor.Tiempodescarga, laHoja, i+2, 4);
    excelFile.setCellValue(elContenedor.Itemdelalista.orden, laHoja, i+2, 5);
    excelFile.setCellValue(elContenedor.descargadoPor, laHoja, i+2, 6);
}

excelFile.setCellValue("Total trenes: ", laHoja, 2, 7);
excelFile.setCellValue(TrenesenTotal, laHoja, 2, 8);
excelFile.setCellValue("Vagones (inc.loco) / tren: ", laHoja, 3, 7);
excelFile.setCellValue(VagonesenTotal, laHoja, 3, 8);
excelFile.setCellValue("Vías utilizadas: ", laHoja, 4, 7);
excelFile.setCellValue(ViasenTotal, laHoja, 4, 8);
excelFile.setCellValue("Num reach stackers: ", laHoja, 5, 7);
excelFile.setCellValue(ReachStackerTotales, laHoja, 5, 8);
excelFile.setCellValue("Modo ejecución: ", laHoja, 6, 7);
excelFile.setCellValue(ModoparaDescargar, laHoja, 6, 8);

excelFile.setCellValue("Vagones descargados: ", laHoja, 8, 7);
excelFile.setCellValue(CantidadDescargados, laHoja, 8, 8);

excelFile.writeFile();

```

*Imagen 60: Evento ResultadosHojaExcel*

Como podemos ver en la imagen 60, mediante el lenguaje Java (lenguaje utilizado en el programa de Anylogic) escribimos los resultados obtenidos durante la simulación en la hoja Excel en cuestión. En la parte superior se puede apreciar los 59 minutos, esto hace que la simulación solo saque datos hasta ese minuto dentro de la simulación, así evitamos los problemas con pasarse de la hora de simulación.

La Primera línea se utiliza para que la palabra elContenedor actúe de la misma manera que el agente LContenedores. En la segunda línea definimos la variable laHoja, donde tenemos la forma de escribir el nombre de las hojas dependiendo del valor de Reach Stacker que se utilicen en la simulación

La herramienta traceln se utiliza para escribir dentro del programa de Anylogic, una vez ha concluido la simulación, el programa muestra en su consola mediante traceln los parámetros elegidos en la simulación, los vagones descargados, y en que hoja va a ser escrito dentro del Excel.

La herramienta excelFile.setCellValue("Vagón", laHoja, 1,1), este código es el encargado de escribir la palabra “Vagon”, en laHoja correspondiente (DescargadoPorXReachStackers, el nombre de laHoja dependerá del número de ReachStackers con el que se haya realizado la simulación), en la fila 1, columna 1.

El comando (For) es un bucle que se utiliza para recorrer todo el almacén, desde el primer contenedor hasta el último descargado, para así poder escribir en el Excel todos los contenedores que han sido descargados en el almacén, y de la misma manera para cada contenedor se aplica la misma herramienta excelFile.setCellValue, para escribir los resultados en la hoja Excel correspondiente.

El segundo Excel se llama **Trenesdesordenados**, el cual contiene una descarga totalmente aleatoria, utilizamos este tipo de descarga aleatoria debido a que normalmente algunos contenedores necesitan ser descargados con anterioridad, ya que en ocasiones la expedición es inmediata después de su descarga. Este tipo de descarga se realiza así de forma desordenada debido a que hay camiones ya esperando la salida de algunos contenedores, por lo que descargarlos en orden haría que los transportistas tuvieran que estar esperando muchas horas, por lo que se opta por descargar de forma que los contenedores que necesitan expedición inmediata sean descargados antes que los que no tiene que salir.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Orden	Vagon	VgColor												
2	1	112	8												
3	2	216	11												
4	3	104	3												
5	4	307	6												
6	5	111	13												
7	6	318	4												
8	7	13	13												
9	8	217	11												
10	9	313	6												
11	10	303	8												
12	11	210	1												
13	12	312	3												
14	13	218	15												
15	14	109	10												
16	15	320	12												
17	16	203	6												
18	17	123	14												
19	18	108	13												
20	19	207	9												
21	20	215	12												
22	21	20	13												
23	22	315	2												
24	23	6	7												
25	24	201	3												
26	25	5	9												
27	26	125	14												
28	27	16	13												
29	28	321	10												
30	29	316	3												
31	30	124	12												
32	31	8	8												
33	32	317	11												
34	33	19	15												
35	34	306	12												
36	35	224	10												
37	36	314	4												
38	37	106	4												

Imagen 37: Pantalla Cargar Excel Trenesdesordenados

Como podemos ver la columna orden sigue totalmente en orden (del 1 hasta el total de vagones, en nuestro caso irá hasta la cantidad total de vagones disponibles con 12 trenes), pero como vemos en la columna Vagon hemos modificado el orden establecido como se puede ver en la imagen la orden número 1 está asociado al vagón 112, por lo tanto, empezará primero por ahí. Siguiendo el Orden establecido.

Por último, el tercer Excel se llama **TrenesTodReachA2Tren**, con este Excel conseguimos que primero todas las Reach Stackers disponibles se encarguen de vaciar los dos trenes de abajo de forma aleatoria. Una vez han acabado se encargan de la misma manera en las vías de la parte superior. Así se logra asignar todas las Reach Stackers a dos vías.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Orden	Vagon	VgColor													
2	43	1	8													
3	4	2	13													
4	33	3	11													
5	7	4	7													
6	15	5	6													
7	2	6	11													
8	19	7	2													
9	24	8	3													
10	21	9	10													
11	22	10	11													
12	44	11	1													
13	46	12	6													
14	37	13	5													
15	30	14	13													
16	8	15	4													
17	18	16	6													
18	50	17	4													
19	20	18	4													
20	49	19	12													
21	38	20	13													
22	47	21	15													
23	11	22	11													
24	5	23	1													
25	42	24	6													
26	36	25	8													
27	14	101	1													
28	29	102	3													
29	9	103	7													
30	10	104	6													
31	40	105	4													
32	26	106	6													
33	41	107	13													
34	25	108	5													
35	39	109	14													
36	35	110	15													
37	28	111	2													
38	3	112	10													

Imagen 38: Pantalla Cargar Excel TrenesTodReachA2Tren

Aquí hemos hecho lo contrario que, en el Excel anterior, en vez de modificar la columna vagón se ha modificado la columna orden. El resultado es exactamente el mismo al Excel anterior.

Como primero hay que descargar los 25 vagones del primer tren y los 25 del segundo tren (tanto el tren 0 como el tren 1 pertenecen a las vías de abajo). Lo que hacemos es generar números aleatorios del 1 al 50 que son los vagones que tienen que descargarse antes de subir a las otras vías. Ponemos esos números aleatorios generados en la columna orden haciendo que se descarguen los primeros 50 vagones (1 al 25 y 101 al 125), de la misma manera que cuando acaben de descargar estas dos vías vayan a descargar los trenes de las vías superiores (201 al 225 y 301 al 325).

## 6.1 Escala

Para poder obtener los resultados reales vamos a tener que establecer una escala ya que el programa solo permite simular 1 hora en total. Por ello hemos establecido 59 minutos como el tope de la simulación, eso quiere decir que una vez iniciamos la simulación esta se detendrá cuando el tiempo de la simulación alcance los 59 minutos.

Por lo tanto, los resultados que obtendremos estarán definidos dentro de esos 59 minutos. Por ello, será necesario ajustar todas las variables dentro del programa que dependan del tiempo. En nuestro caso las únicas variables que dependen del tiempo son la velocidad de las Reach Stackers, la velocidad de los trenes al entrar y al salir y los tiempos de carga y descarga de las Reach Stacker.

Para realizar la escala tenemos que saber primero a cuánto tiempo queremos escalar esos 59 minutos. En nuestro caso vamos a escalar esos 59 minutos a 1 día laborable es decir 24 horas.

Para ello Realizamos el cálculo indicado en la imagen 39, donde sacamos el ratio CalculoTficticio/Treal.

	h	min
Real =	24	1440
Calculo =	1	59
Ratio Calculo Tficticio/Treal		0,04097222

Imagen 39: Calculo del Ratio

Una vez tenemos calculado el ratio tendremos que escalar las velocidades de los trenes dividiendo las velocidades reales para el ratio calculado, imagen 40. Estas serán las velocidades que introduciremos dentro del programa de Anylogic, específicamente en la población de estos agentes.

	v(km/h)	v(m/s)	Cálculo
RS	10	2,8	67,7966102
	8	2,2	54,2372881
Tren	30	8,3	203,389831

Imagen 40: Calculo de las velocidades

Hacemos lo mismo para el tiempo de enganchar el contenedor y para el tiempo de desenganchar el contenedor, Imagen 41.

	min	t (s)
Tenganche	1	0,04097222
Tdesenganch	1	0,04097222

Imagen 41: Calculo de los tiempos de enganche y desenganche

Una vez tenemos los tiempos y las velocidades a escala lo único que falta por hacer es multiplicar el resultado final de descarga que obtenemos (a escala de 59 minutos) x24, con esto obtendríamos escalado el tiempo que se tardaría en descargar los trenes en los diferentes casos en un día (al x 24 obtendríamos el resultado en minutos), una vez lo tenemos en minutos dividimos por 60 para pasar el resultado a horas.

## 7. Casos y análisis de resultados

Para llevar a cabo un análisis de los resultados obtenidos tenemos que comparar los distintos modos de descarga que hemos ideado, para ello, tendremos que analizar cada modo de descarga en cada Excel por separado y ver en cuál de ellos el tiempo es menor.

Lo que busca la terminal es intentar hallar alternativas para la descarga de los trenes que entran en la terminal, por lo tanto, se ha intentado idear distintos modos de descargas y distintos órdenes de descarga para poder ver cuál de ellos es el más eficiente en cuanto a tiempo de descarga.

No se va a realizar la simulación de un caso 0 con el modo 0 debido a que su función es ir a descargar y volver a la reaFleet (ubicación donde se generan las Reach Stacker), no vale la pena simular sus resultados ya que serán iguales a los realizados con 1 Reach Stacker.

Para ello vamos a poner las mismas condiciones en cuanto a parámetros. Por lo tanto, la simulación va a tener los siguientes parámetros en las simulaciones:

- Total, Trenes: 4
- Total, Vagones (incluida la locomotora): 26
- Total, vías: 4
- Variaremos la cantidad de Reach Stackers
- Variaremos el modo de descarga.
- Variaremos el Excel empleado.

**Caso 1:** para este caso emplearemos el Excel Trenes (Excel que descarga los trenes en orden), y comprobaremos que tiempos sacamos dependiendo del modo y de las Reach Stacker empleadas.

Primero tenemos que ver cuantas Reach Stacker son las necesarias para realizar la descarga en el menor tiempo posible.

		Simulaciones							
Modo	1								
Total, Trenes:	4								
Total, vías	4								
Total, Vagones:	26								
ReachStacker	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vagones descargados	72	100	100	100	100	100	100	100	
Tiempo descarga (59min)	51,51	36,16	24,25	19,41	19,13	16,83	18,202	13,62	
Tiempo descarga real(min)	1236,2	867,84	582	465,84	459,12	403,92	436,84	326,88	
Tiempo (horas)	20,6	14,46	9,7	7,76	7,65	6,732	7,28	5,448	

Tabla1: Caso 1 Modo1

Como se puede apreciar en la tabla 1, cuando realizamos la simulación con ocho Reach Stackers obtenemos con bastante diferencia el mejor tiempo de descarga para este modo. En este modo, sí que notamos gran mejoría en utilizar las ocho Reach Stackers. Cabe destacar que todos los tiempos mejoran a medida que aumentamos el número de Reach Stackers, menos cuando ponemos 7 que como vemos el tiempo empeora.

	Simulaciones							
Modo	2							
Total, Trenes:	4							
Total, vías	4							
Total, Vagones:	26							
ReachStacker	1	2	3	4	5	6	7	8
Vagones descargados	69	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo descarga (59min)	51,68	41,71	28,09	21,66	20,38	18,52	17,85	15,06
Tiempo descarga real(min)	1240,32	1001,04	674,16	519,84	489,12	444,48	428,4	361,44
Tiempo (horas)	20,67	16,68	11,23	8,66	8,15	7,408	7,14	6,02

*Tabla2: Caso 1 Modo2*

Como se puede apreciar en la tabla 2, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo, a medida que aumentamos las Reach Stackers reducimos el tiempo de descarga.

	Simulaciones							
Modo	3							
Total, Trenes:	4							
Total, vías	4							
Total, Vagones:	26							
ReachStacker	1	2	3	4	5	6	7	8
Vagones descargados	74	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo descarga (59min)	51,76	35,84	24,57	21,042	17,95	15,48	14,71	15,23
Tiempo descarga real(min)	1242,2	860,16	589,68	504,96	430,8	371,52	353,04	365,52
Tiempo (horas)	20,70	14,336	9,828	8,416	7,18	6,192	5,88	6,092

*Tabla3: Caso 1 Modo3*

Como se puede apreciar en la tabla 3, con siete Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo.

**Conclusión:** como se puede ver en las tablas, en este primer caso la mejor opción de descarga es utilizar ocho Reach Stackers en el modo uno, ya que la descarga mediante este modo es la que menor tiempo de descarga tiene en comparación con los otros modos de descarga.

**Caso 2:** para este caso emplearemos el Excel Trenesdesordenados (Excel que descarga los trenes de forma aleatoria), y comprobamos que tiempos obtenemos dependiendo del modo y de las Reach Stacker empleadas.

Simulaciones	
Modo	1
Total, Trenes:	4
Total, vías	4
Total, Vagones:	26
ReachStacker	1 2 3 4 5 6 7 8
Vagones descargados	44 100 100 100 100 100 100 100
Tiempo descarga (59min)	51,41 47,20 32,55 25,74 21,15 17,87 16,59 16,04
Tiempo descarga real(min)	1233,84 1132,8 781,2 617,76 507,6 428,88 398,16 384,96
Tiempo (horas)	20,56 18,88 13,02 10,29 8,46 7,148 6,636 6,416

Tabla4: Caso 2 Modo1

Como se puede apreciar en la tabla 4, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo, a medida que aumentamos las Reach Stackers reducimos el tiempo de descarga.

Simulaciones	
Modo	2
Total, Trenes:	4
Total, vías	4
Total, Vagones:	26
ReachStacker	1 2 3 4 5 6 7 8
Vagones descargados	44 100 100 100 100 100 100 100
Tiempo descarga (59min)	51,41 49,60 34,72 26,65 22,21 19,59 16,56 16,01
Tiempo descarga real(min)	1233,84 1190,4 833,28 639,6 533,04 470,16 397,44 384,24
Tiempo (horas)	20,56 19,84 13,88 10,66 8,88 7,836 6,624 6,40

Tabla5: Caso 2 Modo2

Como se puede apreciar en la tabla 5, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo, a medida que aumentamos las Reach Stackers reducimos el tiempo de descarga.

Simulaciones	
Modo	3
Total, Trenes:	4
Total, vías	4
Total, Vagones:	26
ReachStacker	1 2 3 4 5 6 7 8
Vagones descargados	44 100 100 100 100 100 100 100
Tiempo descarga (59min)	50,46 45,88 31,38 23,44 19,12 16,29 14,56 13,14
Tiempo descarga real(min)	1221,04 1101,12 753,12 562,56 458,88 329,96 349,44 315,36
Tiempo (horas)	20,18 18,35 12,55 9,376 7,648 6,516 5,824 5,256

*Tabla6: Caso 2 Modo3*

Como se puede apreciar en la tabla 6, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo, a medida que aumentamos las Reach Stackers reducimos el tiempo de descarga.

**Conclusión:** Como se puede apreciar en todas las tablas podemos ver que en todos los modos de descarga la mejor opción es utilizar ocho Reach Stackers, pero a la hora de realizar la descarga de forma aleatoria, vemos que el modo que menor tiempo de descarga tiene es el modo 3, que mejora mucho el tiempo de descarga respecto al modo 2 y modo 3.

**Caso 3:** para este caso emplearemos el Excel **TrenesTodReachA2Tren** (Excel que descarga los trenes de forma aleatoria primero en las dos vías de abajo y luego en las dos vías de arriba), y comprobamos que tiempos obtenemos dependiendo del modo y de las Reach Stacker empleadas.

Simulaciones	
Modo	1
Total, Trenes:	4
Total, vías	4
Total, Vagones:	26
ReachStacker	1 2 3 4 5 6 7 8
Vagones descargados	73 100 100 100 100 100 100 100
Tiempo descarga (59min)	52,10 36,73 25,76 20,35 17,64 15,56 15,02 13,55
Tiempo descarga real(min)	1250,4 881,52 618,24 488,4 423,36 373,44 361,2 325,2
Tiempo (horas)	20,84 14,69 10,30 8,14 7,056 6,224 6,02 5,42

*Tabla7: Caso 3 Modo1*

Como se puede apreciar en la tabla 7, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo, a medida que aumentamos las Reach Stackers reducimos el tiempo de descarga.

		Simulaciones							
Modo	2								
Total, Trenes:	4								
Total, vias	4								
Total, Vagones:	26								
ReachStacker	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vagones descargados	70	100	100	100	100	100	100	100	
Tiempo descarga (59min)	51,87	41,60	30,99	22,42	19,02	16,76	16,50	14,22	
Tiempo descarga real(min)	1244,8	998,4	743,76	538,08	456,48	402,24	396	341,28	
Tiempo (horas)	20,74	16,64	12,396	8,968	7,608	6,704	6,6	5,68	

*Tabla8: Caso 3 Modo2*

Como se puede apreciar en la tabla 8, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo, a medida que aumentamos las Reach Stackers reducimos el tiempo de descarga.

		Simulaciones							
Modo	3								
Total, Trenes:	4								
Total, vias	4								
Total, Vagones:	26								
ReachStacker	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vagones descargados	76	100	100	100	100	100	100	100	
Tiempo descarga (59min)	52,132	34,97	24,45	19,89	18,437	15,92	14,10	12,63	
Tiempo descarga real(min)	1251,1	839,28	586,8	477,36	442,48	382,08	338,4	303,12	
Tiempo (horas)	20,85	13,98	9,78	7,956	7,37	6,368	5,64	5,05	

*Tabla9: Caso 3 Modo3*

Como se puede apreciar en la tabla 9, con ocho Reach Stackers obtenemos el menor tiempo en este modo.

**Conclusión:** en el caso 3 vemos que el mejor tiempo de descarga se obtiene para el modo 3 con ocho Reach Stackers, en cambio, en el caso 1 se obtiene que el tiempo es ligeramente mayor utilizando ocho Reach Stackers. Como vemos en el resultado de las tablas, el mejor modo de descarga, es el modo tres con ocho Reach Stackers, donde logra mejorar en gran medida al modo de descarga uno con siete Reach Stackers.

## 7.1 Comparación del tiempo y del precio.

En el apartado anterior hemos calculado mediante las simulaciones qué caso y qué modo de descarga tiene el menor tiempo. Aparte del factor del tiempo, también hay que analizar el coste unitario que tiene cada vagón al año, al utilizar ocho Reach Stackers en comparación con utilizar menos. En este apartado se va a comparar el ratio (€/vagón hora) donde veremos si vale la pena gastar más dinero en descargar, o gastar un poco menos de dinero y que la descarga salga un poco más barata. Tres son las variables más importantes dentro de una terminal, el tiempo, la cantidad de vagones descargados en ese tiempo y el coste de descarga.

Sabemos que la terminal marítima de Zaragoza trabaja 24h y 365 días anuales, con este dato se ha sacado la capacidad horaria del Excel. Sabemos que TMZ tiene como objetivo descargar unos 160.000 contenedores anuales.

El precio de venta de cada ReachStackers es de aproximadamente un millón de euros, y conocemos que el límite de descarga que hemos establecido es de 100 vagones como máximo en nuestras simulaciones. Ejemplo, si se tarda en descargar 6 horas en nuestra simulación (4 trenes de 25 vagones cada uno), lograremos descargar en 24 horas (16 trenes de 25 vagones cada uno).

En este apartado vamos a analizar los resultados de cada Caso y cada modo calculado en el apartado anterior.

### Caso 1 Modo1:

Caso 1 Modo1								
Reach Stackers	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	72	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,6	14,46	9,7	7,76	7,65	6,732	7,28	5,448
Cálculo Precio/VagonesDes	13888,889	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	674,21791	1383,1259	3092,7835	5154,6392	6535,9477	8912,656	9615,3846	14684,288
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,17	1,66	2,47	3,09	3,14	3,57	3,30	4,41
nº contenedores anuales	30617,5	60580,9	90309,3	112886,6	114509,8	130124,8	120329,7	160793,0
coste unitario (coste/nº contenedores)	32,66	33,01	33,22	35,43	43,66	46,11	58,17	49,75
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 42: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 42 se puede ver que en este modo 1 de descarga el único que cumple aproximadamente la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga con ocho Reach Stackers, ya que la siguiente mejor opción que sería utilizar seis Reach Stackers vemos que llegamos a descargar únicamente 130.000 contenedores. En el apartado de coste unitario vemos el precio que nos cuesta descargar cada vagón, como vemos en el Excel sin contar la opción de utilizar siete Reach Stackers, la opción más cara es la de ocho Reach Stackers. En la imagen 43 podemos ver porqué es más rentable utilizar también ocho Reach Stackers, ya que el coste de utilizar 6 Reach Stackers no es mucho menor al de utilizar ocho, por lo que por prácticamente por el mismo precio se prefiere pagar un poco más y poder descargar mayor cantidad de contenedores. El eje X de la gráfica indica el número en millones de coste de inversión.

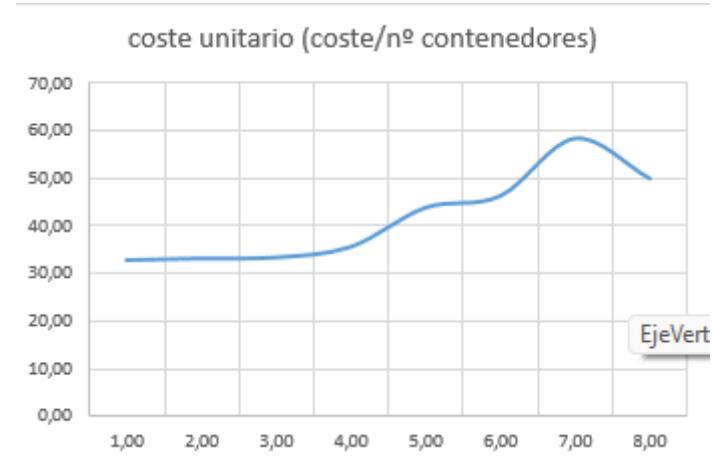


Imagen 43: Gráfica Caso 1 Modo 1

**Caso 1 Modo2:**

Caso 1 Modo2								
Reach Stackers	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	69	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,67	16,68	11,23	8,66	8,15	7,408	7,14	6,02
Cálculo Precio/VagonesDes	14492,754	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	701,14918	1199,0408	2671,4159	4618,9376	6134,9693	8099,3521	9803,9216	13289,037
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,16	1,44	2,14	2,77	2,94	3,24	3,36	3,99
nº contenedores anuales	29242,4	52518,0	78005,3	101154,7	107484,7	118250,5	122689,1	145515,0
coste unitario (coste/nº contenedores)	34,20	38,08	38,46	39,54	46,52	50,74	57,05	54,98
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 44: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 44 se puede ver que en este modo 2 de descarga el único que se acerca aproximadamente a la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga con ocho Reach Stackers, aunque en este modo de descarga vemos que no sería muy efectivo ya que no se lograría descargar la mínima cantidad anual que tiene la terminal. Como podemos ver en la imagen 45, de nuevo observamos que comprar 7 Reach Stackers vuelve a salir más caro que comprar 6 o 8 Reach Stackers. Siendo de nuevo ocho Reach Stackers la opción más rentable.

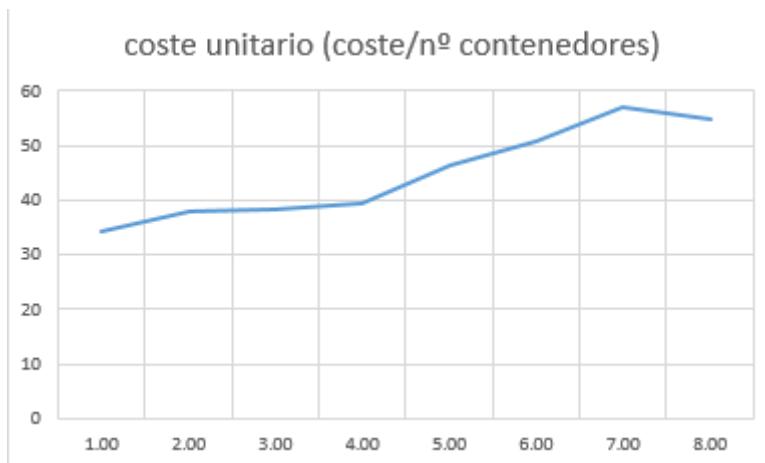


Imagen 45: Gráfica Caso 1 Modo 2

## Caso 1 Modo3:

Caso 1 Modo3								
Reach Stackers	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	74	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,7	14,336	9,828	8,416	7,18	6,192	5,88	6,092
Cálculo Precio/VagonesDes	13513,514	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	652,82674	1395,0893	3052,5031	4752,8517	6963,7883	9689,9225	11904,762	13131,976
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,16	1,67	2,44	2,85	3,34	3,88	4,08	3,94
nº contenedores anuales	31315,9	61104,9	89133,1	104087,5	122005,6	141472,9	148979,6	143795,1
coste unitario (coste/nº contenedores)	31,93	32,73	33,66	38,43	40,98	42,41	46,99	55,63
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 46: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 46 se puede ver que en este modo 3 de descarga el único que se acerca aproximadamente a la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga mediante siete Reach Stackers, aunque en este modo de descarga vemos que no sería muy efectivo ya que no se lograría descargar la mínima cantidad anual que tiene la terminal. Como podemos ver en la imagen 47, vemos que comprar 7 Reach Stackers ahora ya no sale más caro que comprar 8 Reach Stackers. Por ello, con este modo necesitaríamos siete Reach Stackers para podernos acercar a la cantidad anual de descarga de contenedores. También vemos que en esta gráfica a medida que aumentamos el número de Reach Stackers también aumentamos de forma ascendente coste unitario.

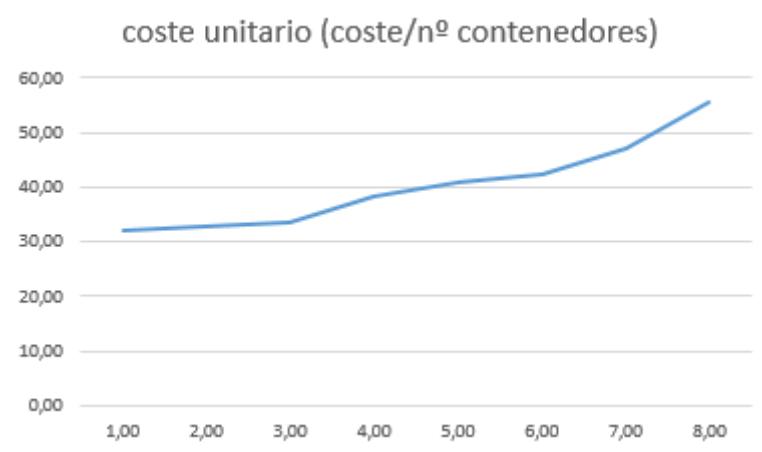


Imagen 47: Gráfica Caso 1 Modo 3

## Caso 2 Modo1:

Caso 2 Modo1								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Reach Stackers								
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	44	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,56	18,88	13,02	10,29	8,46	7,148	6,636	6,416
Cálculo Precio/VagonesDes	22727,273	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	1105,4121	1059,322	2304,1475	3887,2692	5910,1655	8393,9564	10548,523	12468,828
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,17	1,27	1,84	2,33	2,84	3,36	3,62	3,74
nº contenedores anuales	18747,1	46398,3	67281,1	85131,2	103546,1	122551,8	132007,2	136533,7
coste unitario (coste/nº contenedores)	53,34	43,11	44,59	46,99	48,29	48,96	53,03	58,59
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 48: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 48 se puede apreciar que en este modo 1 de descarga el único que se acerca aproximadamente a la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga mediante ocho Reach Stackers, aunque en este modo de descarga vemos que no sería muy efectivo ya que no se lograría descargar la mínima cantidad anual que necesita la terminal. En la imagen 49, cabe destacar en este Caso 2 que como logramos descargar muy pocos vagones con una Reach Stacker, vemos que el precio que nos cuesta cada vagón es más caro que utilizar 2,3,4,5,6 y 7 Reach Stackers. El único que le supera en coste unitario sería a la descarga mediante ocho Reach Stackers, esta sería la mejor opción, aunque no lograríamos el objetivo.

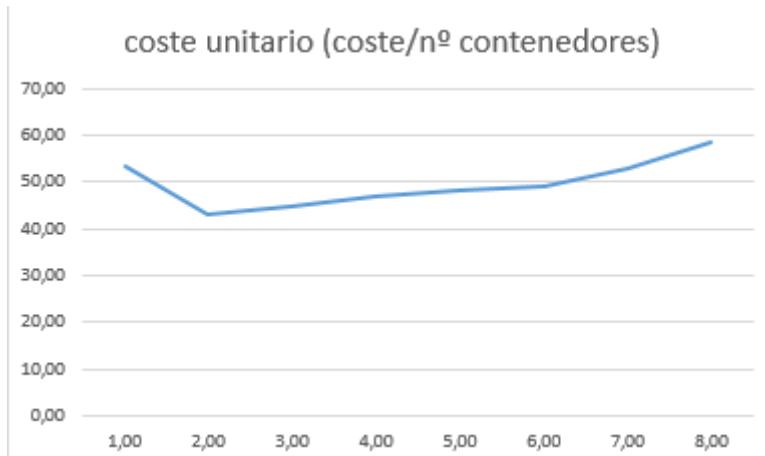


Imagen 49: Gráfica Caso 2 Modo 1

## Caso 2 Modo2:

Caso 2 Modo2								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Reach Stackers								
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	44	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,56	19,84	13,88	10,66	8,88	7,836	6,624	6,4
Cálculo Precio/VagonesDes	22727,273	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	1105,4121	1008,0645	2161,3833	3752,3452	5630,6306	7656,9678	10567,633	12500
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,17	1,21	1,73	2,25	2,70	3,06	3,62	3,75
nº contenedores anuales	18747,1	44153,2	63112,4	82176,4	98648,6	111791,7	132246,4	136875,0
coste unitario (coste/nº contenedores)	53,34	45,30	47,53	48,68	50,68	53,67	52,93	58,45
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 50: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 50 se puede apreciar que en este modo 2 de descarga el único que se acerca aproximadamente a la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga mediante ocho Reach Stackers, aunque en este modo de descarga vemos que no sería muy efectivo ya que no se lograría descargar la mínima cantidad anual que necesita la terminal. En la imagen 51, cabe destacar en este Caso 2 que como logramos descargar muy pocos vagones con una Reach Stacker, vemos que el precio que nos cuesta cada vagón es más caro que utilizar 2,3,4 y 5 Reach Stackers. Los únicos que le supera en coste unitario sería a la descarga mediante seis, siete y ocho Reach Stackers, esta última sería la mejor opción, aunque no lograríamos el objetivo.

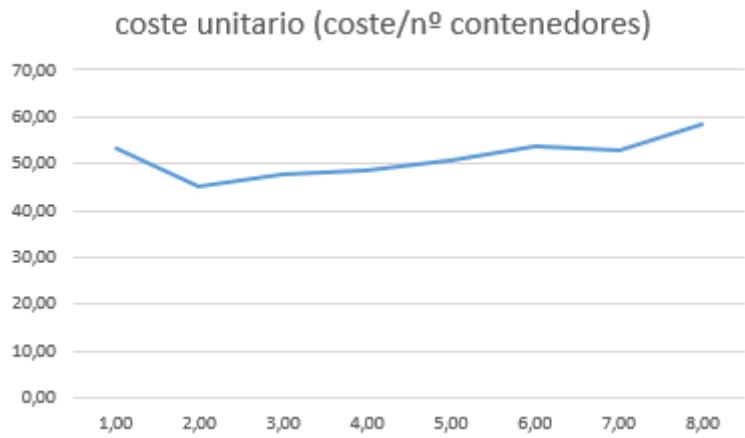


Imagen 51: Gráfica Caso 2 Modo 2

## Caso 2 Modo3:

Caso 2 Modo3								
Reach Stackers	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	44	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,18	18,35	12,55	9,376	7,648	6,516	5,824	5,256
Cálculo Precio/VagonesDes	22727,273	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	1126,2276	1089,9183	2390,4382	4266,2116	6537,6569	9208,1031	12019,231	15220,7
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,19	1,31	1,91	2,56	3,14	3,68	4,12	4,57
nº contenedores anuales	19100,1	47738,4	69800,8	93430,0	114539,7	134438,3	150412,1	166666,7
coste unitario (coste/nº contenedores)	52,36	41,89	42,98	42,81	43,65	44,63	46,54	48,00
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 52: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 52 se puede apreciar que en este modo 3 de descarga el único que cumple la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga mediante ocho Reach Stackers. En la imagen 51, cabe destacar en este Caso 2 que como logramos descargar muy pocos vagones con una Reach Stacker, vemos que el precio que nos cuesta cada vagón es más caro que utilizar cualquier número de Reach Stackers, aunque su inversión sea menor que las otras opciones. Como podemos ver con ocho Reach Stackers la terminal supera con hasta 7 mil los 160.000 contenedores que descargaría en un año natural. Además, el coste unitario es muy parecido a la descarga con siete Reach Stackers. Esta opción en cuanto al tiempo sería la mejor opción para realizar la descarga de la terminal.

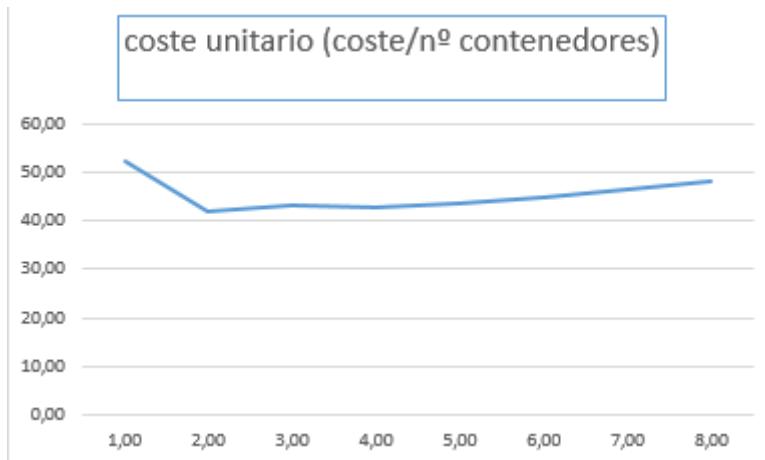


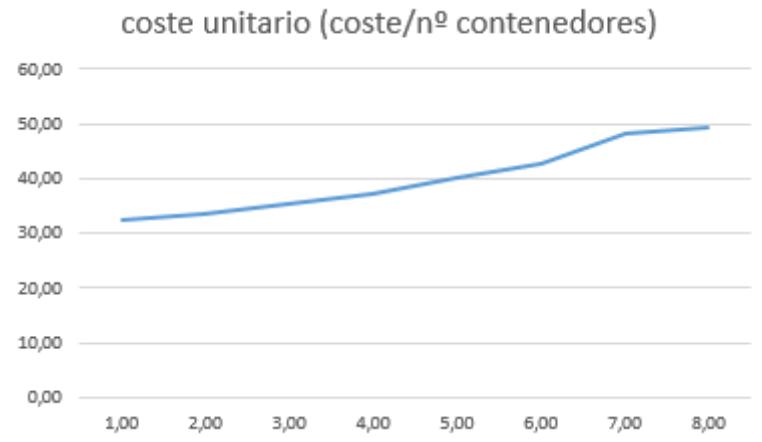
Imagen 53: Gráfica Caso 2 Modo 3

**Caso 3 Modo1:**

Caso 3 Modo1								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Reach Stackers								
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	73	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,84	14,69	10,3	8,14	7,056	6,224	6,02	5,42
Cálculo Precio/VagonesDes	13698,63	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	657,3239	1361,4704	2912,6214	4914,0049	7086,1678	9640,1028	11627,907	14760,148
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,15	1,63	2,33	2,95	3,40	3,86	3,99	4,43
nº contenedores anuales	30685,2	59632,4	85048,5	107616,7	124149,7	140745,5	145515,0	161623,6
coste unitario (coste/nº contenedores)	32,59	33,54	35,27	37,17	40,27	42,63	48,11	49,50
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

*Imagen 54: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales*

En la imagen 54 se puede ver que en este modo 1 de descarga el único que cumple la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga mediante ocho Reach Stackers. Como podemos ver en la imagen 55, vemos que el coste unitario tiene un crecimiento ascendente a medida que aumentamos la cantidad de Reach Stackers. Aun así, necesitaríamos ocho Reach Stackers para poder cumplir con la cantidad anual estipulada de descarga de contenedores. Se puede ver también que el coste unitario de utilizar siete y ocho Reach Stackers es bastante parecido. Con solo una Reach Stacker más conseguiríamos descargar aproximadamente unos 16 mil contenedores más que utilizando 7 Reach Stackers. Siendo esta una de las mejores opciones que tiene la terminal para realizar la descarga de contenedores.


*Imagen 55: Gráfica Caso 3 Modo 1*

**Caso 3 Modo2:**

Caso 3 Modo2								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Reach Stackers								
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	70	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,74	16,64	12,396	8,968	7,608	6,704	6,6	5,68
Cálculo Precio/VagonesDes	14285,714	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	688,80011	1201,9231	2420,1355	4460,3033	6572,0294	8949,8807	10606,061	14084,507
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,16	1,44	1,94	2,68	3,15	3,58	3,64	4,23
nº contenedores anuales	29566,1	52644,2	70668,0	97680,6	115142,0	130668,3	132727,3	154225,4
coste unitario (coste/nº contenedores)	33,82	37,99	42,45	40,95	43,42	45,92	52,74	51,87
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

Imagen 56: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales

En la imagen 56 se puede ver que en este modo 2 de descarga el único que se acerca aproximadamente a la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga con ocho Reach Stackers, aunque en este modo de descarga vemos que no sería muy efectivo ya que no se lograría descargar la mínima cantidad anual que tiene la terminal. Como podemos ver en la imagen 57, de nuevo vemos que comprar 7 Reach Stackers vuelve a salir más caro que comprar 6 o 8 Reach Stackers. Siendo de nuevo ocho Reach Stackers la opción más rentable por el precio y por la cantidad descargada al año. También vemos que comprar 3 Reach Stackers en vez de 4 también nos saldría más caro.

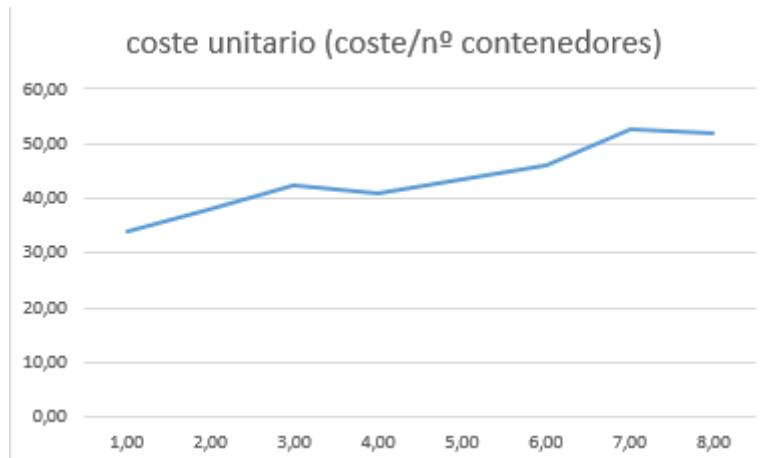


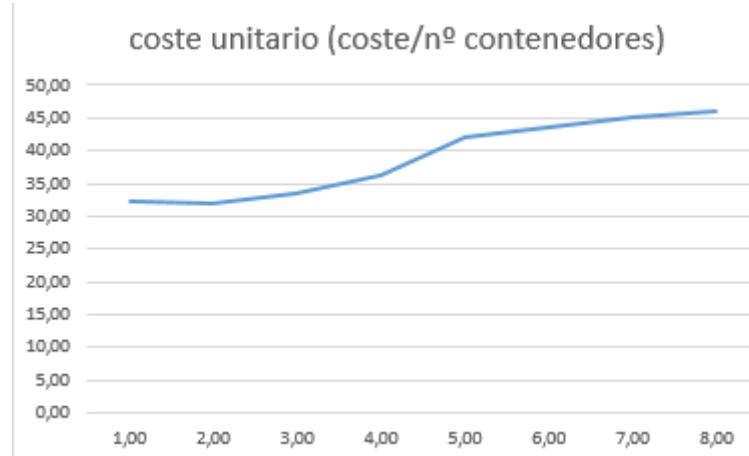
Imagen 57: Gráfica Caso 3 Modo 2

## Caso 3 Modo3:

Caso 3 Modo3								
Reach Stackers	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio	1000000	2000000	3000000	4000000	5000000	6000000	7000000	8000000
Vagones Descargados	74	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo de descarga(horas)	20,85	13,98	9,78	7,956	7,37	6,368	5,64	5,05
Cálculo Precio/VagonesDes	13513,514	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
Cálculo Precio/VagonDes*hora	648,13014	1430,6152	3067,4847	5027,6521	6784,2605	9422,1106	12411,348	15841,584
Capacidad horaria (24h/tdescarga)	1,15	1,72	2,45	3,02	3,26	3,77	4,26	4,75
nº contenedores anuales	31090,6	62660,9	89570,6	110105,6	118860,2	137562,8	155319,1	173465,3
coste unitario (coste/nº contenedores)	32,16	31,92	33,49	36,33	42,07	43,62	45,07	46,12
coste inversión	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00

*Imagen 58: Calculo coste inversión y cantidad de contenedores anuales*

En la imagen 58 se puede ver que en este modo 3 de descarga el único que consigue la descarga anual de 160.000 contenedores, es la descarga mediante ocho Reach Stackers. Como podemos ver en la imagen 59, vemos que esta es la opción más barata y que más contenedores descarga. Esta es la opción que lograría descargar 160.000 contenedores anuales con el coste unitario más bajo de todos los casos y modos de descarga.


*Imagen 59: Gráfica Caso 3 Modo 3*

## 7.2 Comparación de modos de descarga de cada caso.

Una vez analizado cada caso y cada modo vamos a pasar a comparar los distintos modos de descarga en cada caso.

Para realizar estas comparaciones utilizaremos gráficas de líneas donde veremos la comparación de costes en cada modo de descarga y también veremos la cantidad de vagones que es capaz de descargar cada modo.

### Caso1:

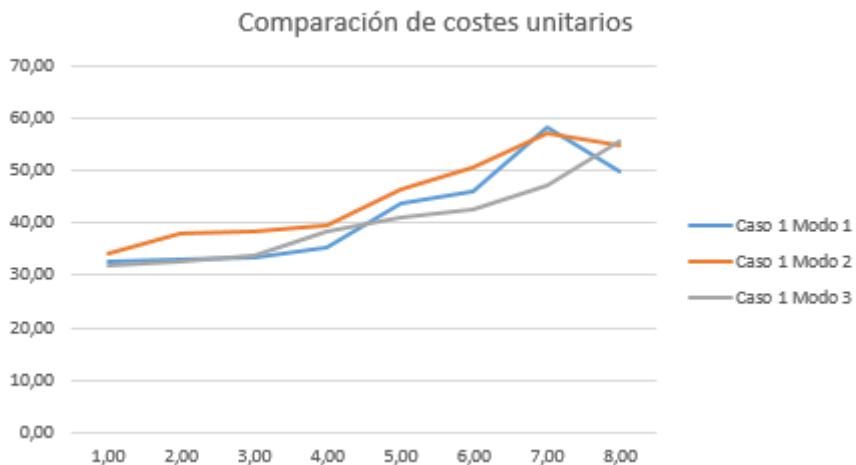


Imagen 61: Gráfica de comparación de costes unitarios

En esta gráfica podemos apreciar que el caso 1 Modo 1 con ocho Reach Stackers es la mejor opción en cuanto a coste unitario de cada vagón. En el eje X tenemos el coste de inversión en millones de euros y en el eje Y tenemos el coste unitario.

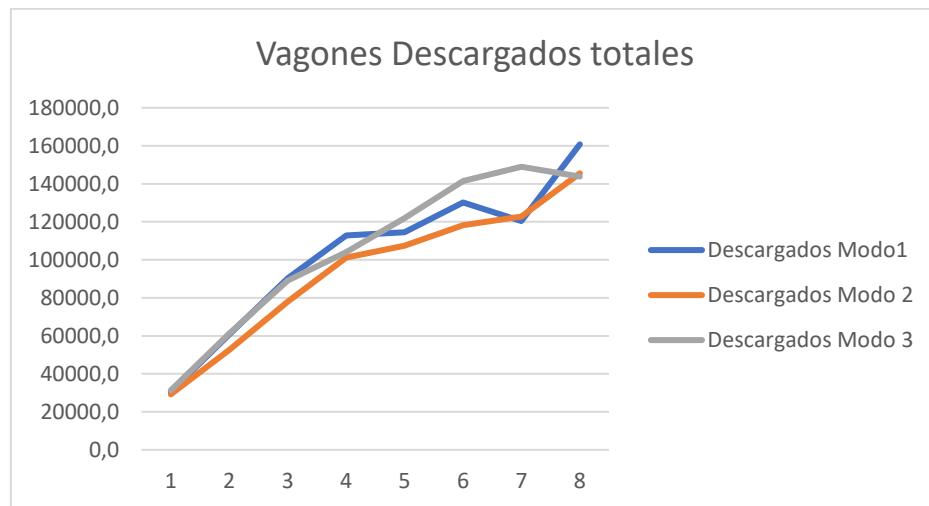


Imagen 62: Gráfica de comparación de vagones descargados

En esta gráfica podemos apreciar que el modo 1 de descarga con ocho Reach Stackers es modo capaz de descargar más vagones en un año. Como vemos tanto el modo 2 como el modo 3 descargarían un número muy parecido de vagones anuales. En el eje X de la gráfica tenemos el número de Reach Stacker empleadas en la descarga y en el eje Y tenemos la cantidad de vagones descargados.

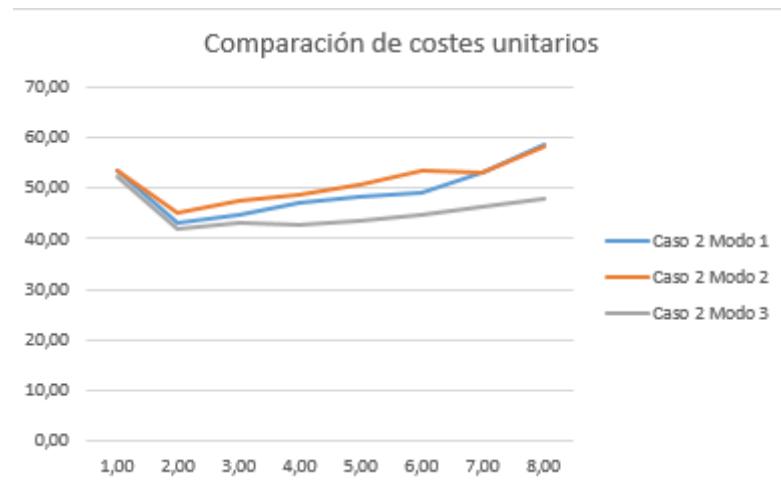
**Caso2:**


Imagen 63: Gráfica de comparación de costes unitarios

Como podemos ver en esta gráfica los costes unitarios de los tres modos de descarga se disparan al utilizar solamente una Reach Stacker viendo que de esta manera sería muy poco rentable esta inversión. Tanto el modo 2 como el modo 1 de descarga, acaban teniendo un coste unitario muy parecido cuando se descarga mediante ocho Reach Stackers. Con este gráfico vemos que el mejor modo de descarga en este caso vuelve a ser el modo 3 ya que nos sale un coste unitario menor. En el eje X tenemos el coste de inversión en millones de euros y en el eje Y tenemos el coste unitario.

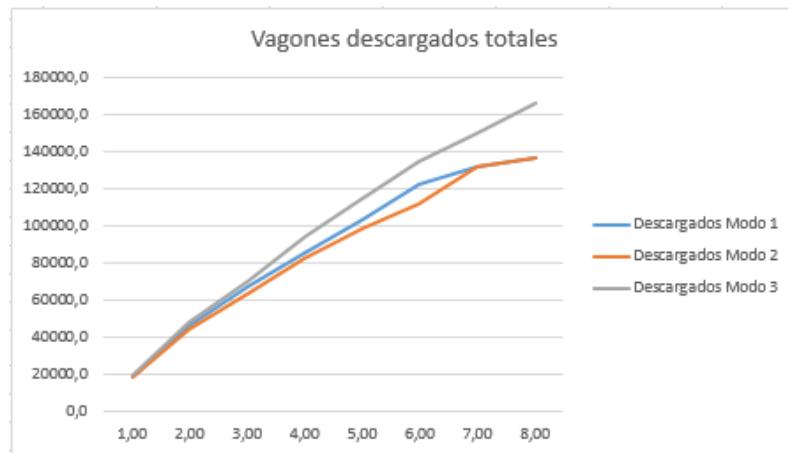


Imagen 64: Gráfica de comparación de vagones descargados

En esta gráfica podemos apreciar que el modo 3 de descarga con ocho Reach Stackers es modo capaz de descargar más vagones en un año. Como vemos tanto el modo 1 como el modo 2 descargarían un número muy parecido de vagones anuales. Viendo que de nuevo descargar con ocho ReachStackers y aplicando el modo 3 de descarga sería capaz de tener un menor coste unitario, y, además, sería capaz de descargar más vagones. En el eje X de la gráfica tenemos el número de Reach Stacker empleadas en la descarga y en el eje Y tenemos la cantidad de vagones descargados.

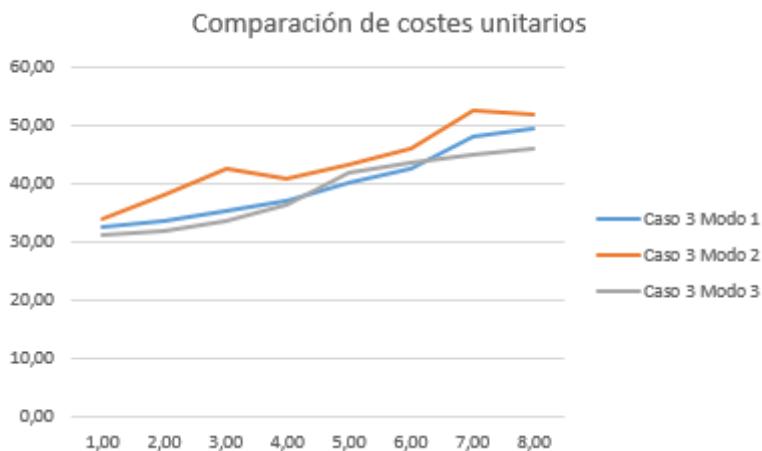
**Caso3:**


Imagen 65: Gráfica de comparación de costes unitarios

En esta gráfica podemos ver que el modo 3 de descarga es el modo que menor coste unitario tiene de los tres. En el eje X tenemos el coste de inversión en millones de euros y en el eje Y tenemos el coste unitario.

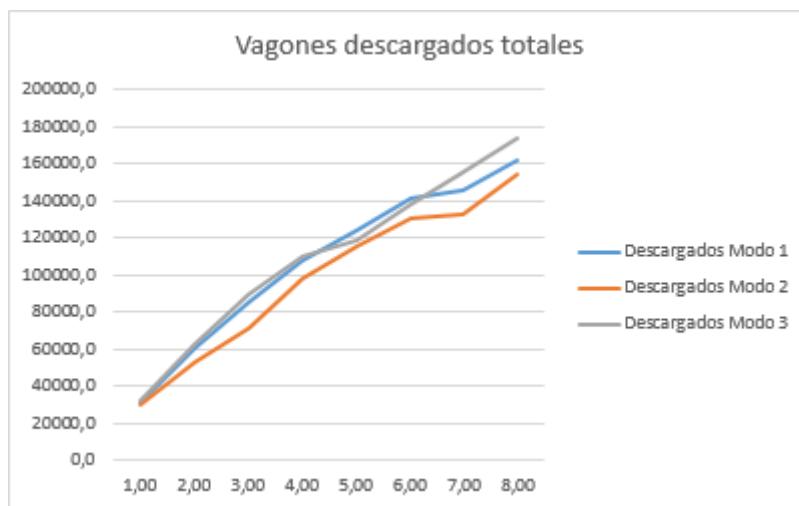


Imagen 66: Gráfica de comparación de vagones descargados

En esta gráfica podemos ver que el modo 3 de descarga con ocho Reach Stackers es el modo que más vagones consigue descargar al año, alcanzando casi los 170.000 contenedores anuales. En este caso 3 la mejor opción sin duda sería aplicar el modo 3 de descarga ya que cumple con la cantidad de vagones descargados anualmente con ocho Reach Stackers y además consigue el menor coste unitario por vagón siendo por consiguiente el modo más rentable de esta simulación.

Por último, agregamos dos gráficas que nos ayudarán a comparar mejor los tres casos:

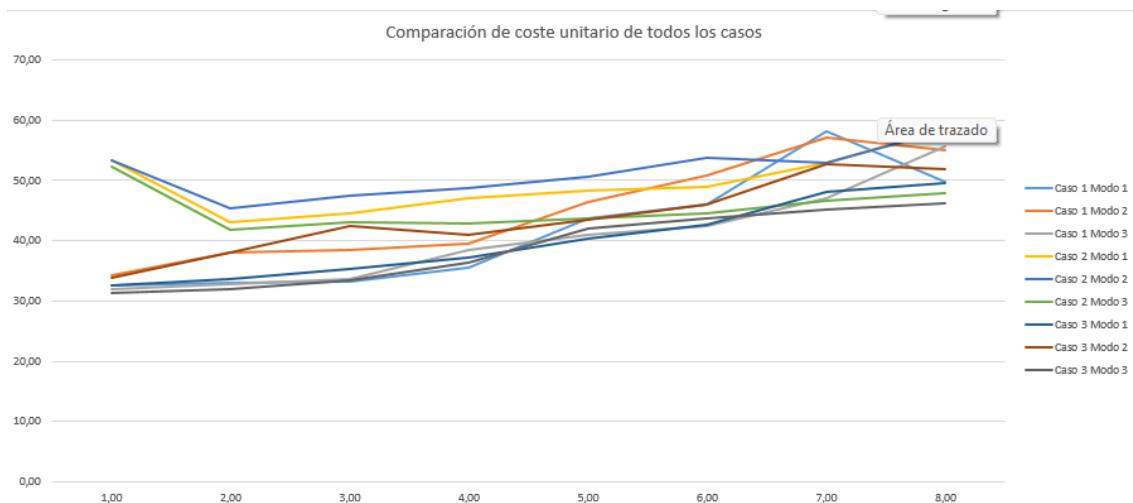


Imagen 67: Gráfica de comparación de costes unitarios de todos los casos

Como podemos ver en la gráfica el caso 3 modo 3 con ocho Reach Stacker es la opción que menor coste unitario tiene, seguido muy de cerca por el caso 2 modo 3, con esto podemos comprobar que el modo 3 es el mejor modo de descarga aplicable a esta terminal, ya que produce el menor coste unitario y el menor tiempo de descarga.

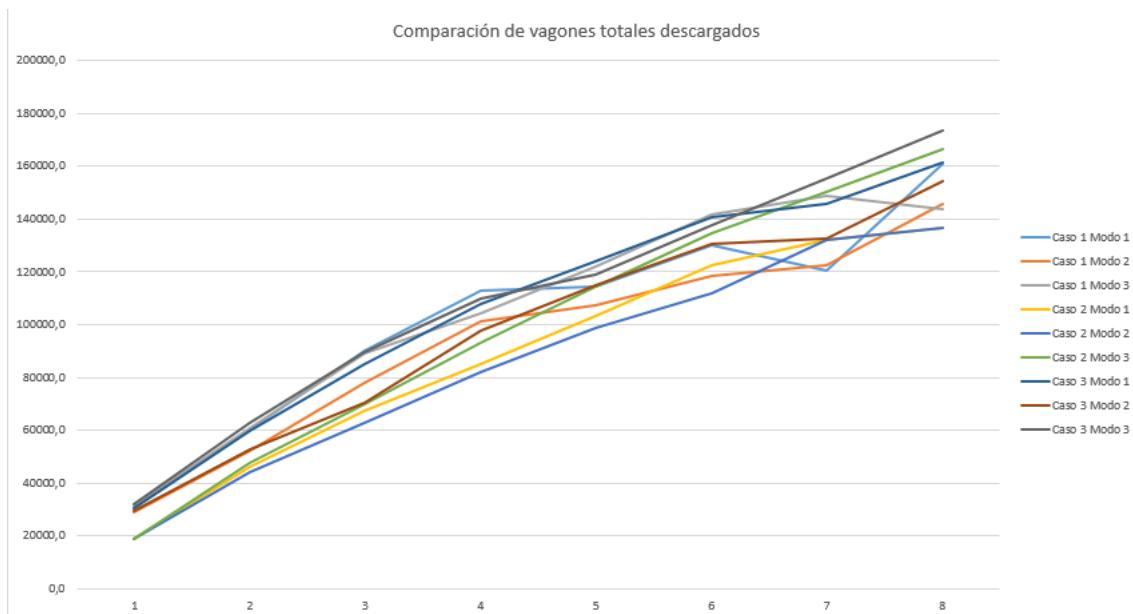


Imagen 68: Gráfica de comparación de vagones descargados

En esta gráfica tenemos la comparación de vagones descargados en un año. Como podemos apreciar en la línea gris oscura el caso 3 modo 3 es la opción que mayor número de vagones lograría descargar en un año. Por lo tanto, sin ninguna duda esta es la mejor opción para realizar la descarga en la Terminal Marítima de Zaragoza.

## 8. Conclusión

Con este software, se ha implementado la programación y simulación de una terminal ferroviaria mediante un sistema de eventos discretos y de simulación mediante agentes.

Para realizar la simulación se ha tenido en cuenta los principales activos que realizan la descarga de la terminal, trenes, contenedores y Reach Stackers que son los principales agentes dentro de esta simulación.

Esta herramienta permite simular de manera práctica y fidedigna la carga y descarga de trenes en una terminal intermodal, únicamente variando los parámetros como los trenes, las Reach Stacker empleadas, las vías empleadas, los vagones y por supuesto, los diferentes modos de descarga de la terminal a analizar.

Lo que buscamos es intentar idear algún sistema de descarga que mejore el sistema que tienen actualmente en la terminal, mediante un programa que simula dicha descarga.

Para la lógica de los trenes y la lógica de descarga se ha utilizado un sistema de bloques que contiene la herramienta, mediante éstos se logra mover los trenes y descargarlos de forma efectiva.

Comparando los resultados obtenidos en las tablas, vemos que el mejor modo de descarga para los parámetros que hemos establecido para el Excel Trenes, es el modo uno. Este modo se encarga de llenar las playas de descarga de una en una hasta la mitad de su capacidad, cuando se llena la mitad de la primera playa de descarga, pasa a la siguiente. Como hemos apreciado en los resultados del ensayo, el caso uno con ocho Reach Stackers es el caso que menor tiempo ha empleado en realizar la descarga. Por lo tanto, vemos que realizar una descarga de forma ordenada y aplicando el modo uno de descarga, sería el método más eficiente para la descarga ordenada.

Por otro lado, sabiendo que en las terminales no se suele descargar de forma ordenada debido a que hay contenedores que tienen que salir antes que otros, tenemos también que comparar el caso dos con el caso tres. Al hacer la comparativa de estos dos casos, vemos que el caso dos que contiene el Excel Trenesdesordenados mejora el tiempo de descarga del modo 3 respecto al caso tres. Por ello, vemos que descargar de forma aleatoria los cuatro trenes a la vez, es más eficiente en cuanto al tiempo de descarga, que realizar una descarga aleatoria asignando todas las Reach Stackers a las primeras dos vías y luego todas las Reach Stackers a las otras dos vías, empeora el rendimiento de descarga de la terminal.

En conclusión, si tenemos que elegir el método de descarga más rápido, la mejor opción es realizar la descarga mediante el Excel llamado TreenesTodReachA2Tren aplicando el modo 3 de descarga. Con este modo y este Excel obtenemos el mejor tiempo de descarga total de la terminal con cuatro trenes, veinticinco vagones, cuatro vías disponibles y ocho Reach Stackers, dando un tiempo total de 5,05 horas, que sería el tiempo que tardaría en descargar por completo los trenes, siendo este el mejor tiempo de descarga que hemos obtenido a lo largo de esta simulación. Al realizar la descarga, para que cumpla con el total de contenedores que tienen que ser descargados al menor coste unitario posible, volveríamos a elegir el caso 3 modo 3 de descarga, donde obtenemos de nuevo el menor coste unitario por vagón. Viendo que esta opción utilizando el Excel llamado TreenesTodReachA2Tren y utilizando ocho Reach Stackers sería el método más efectivo en relación coste/tiempo. Ya que con esta opción lograríamos

cumplir la descarga anual de 160.000 contenedores al menor coste unitario posible, mejorando la opción del caso 2 modo 3, que sería nuestra segunda opción más rentable.

Por último, debemos destacar las múltiples ventajas que tiene el transporte intermodal, pero pensamos que debido a nuestra buena infraestructura tendríamos que tratar de mejorar y promocionar este tipo de transporte en mayor medida. De hecho, deberíamos intentar dejar atrás los métodos de transporte convencionales como el transporte por carretera, que además de ser lento es bastante contaminante, y apostar por un transporte más efectivo, económico y ecológico.

## 9. Bibliografía

Transporte Intermodal: Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte\\_intermodal\\_de\\_mercanc%C3%ADas](https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_intermodal_de_mercanc%C3%ADas)

Terminal Marítima de Zaragoza:

<https://tmzaragoza.eu/>

<https://www.soydezaragoza.es/terminal-maritima-zaragoza-tmz/>

<https://redaccion.camarazaragoza.com/tmz-nuevos-socios-club-camara-internacional/#:~:text=De%20esta%20manera%2C%20TMZ%20se,desde%20su%20apertura%20en%202007.>

<https://www.aragonplataformalogistica.es/directorio/terminal-maritima-de-zaragoza-tmz/>

<https://www.adif.es/w/instalaci%C3%B3n-log%C3%ADstica-zaragoza-corbera?pageFromPlid=489>

Anylogic:

<https://tutorial.anylogicbrasil.com.br/v/tutorial-es/>

<https://www.anylogic.com/resources/anylogic-for-academia/>

<https://www.anylogic.com/resources/books/tutorial-para-anylogic-en-espanol/>

<https://agilitools.com/blogsp/tutoriales/>

<https://tutorial.anylogicbrasil.com.br/v/tutorial-es/comunicacao-com-planilhas-excel>