

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Simulación mediante Arena del flujo de mercancías  
en el Puerto de Algeciras

Autor: Luis García Durán

Tutor: Antonio Plácido Moreno Beltrán

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

# **Simulación mediante Arena del flujo de mercancías en el Puerto de Algeciras**

Autor:  
Luis García Durán

Tutor:  
Antonio Plácido Moreno Beltrán

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado: Simulación mediante Arena del flujo de mercancías en el Puerto de Algeciras

Autor: Luis García Durán

Tutor: Antonio Plácido Moreno Beltrán

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:



# Índice

---

<b>1</b>	<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>El Puerto de Algeciras</b>	<b>7</b>
4.1	Historia del Puerto de Algeciras	7
4.2	Estadísticas del Puerto de Algeciras	9
4.3	Servicios y equipamiento del Puerto de Algeciras	11
4.3.1	Carga y descarga de buques	11
4.3.2	Almacenamiento temporal de mercancía	12
4.3.3	Cambio de modo de transporte	13
4.3.4	Equipos de manipulación de mercancía	15
4.3.5	Cabezas tractoras	19
4.3.6	El contenedor	20
<b>5</b>	<b>Software Arena</b>	<b>25</b>
5.1	Menús	25
5.2	Barra de herramientas	25
5.3	Panel de procesos básicos de Arena	26
5.3.1	Módulo “create”	27
5.3.2	Módulo “process”	27
5.3.3	Módulo “decide”	28
5.3.4	Módulo “assign”	28
5.3.5	Módulo “batch”	28
5.3.6	Módulo “separate”	29
5.3.7	Módulo “record”	29
5.3.8	Módulo “dispose”	29
5.3.9	Módulo “entity”	29
5.3.10	Módulo “queue”	29
5.3.11	Módulo “resource”	30
5.3.12	Módulo “schedule”	30
5.3.13	Módulo “set”	30
5.3.14	Módulo variable	30
5.4	Panel de procesos avanzados	30
5.4.1	Módulo “delay”	31
5.4.2	Módulo “release”	31
5.5	Panel de transferencia avanzada	31
5.5.1	Módulo “route”	31
5.5.2	Módulo “station”	32

<b>6</b>	<b>Descripción Del Modelo a Simular</b>	<b>33</b>
6.1	Descripción de especificaciones de Arena	33
6.2	Descripción del modelo	34
<b>7</b>	<b>Resultados De La Simulación</b>	<b>37</b>
7.1	Análisis de los resultados de la simulación	37
<b>8</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>41</b>
	<b>Apéndice A Anexo</b>	<b>43</b>
A.0.1	Resultados de la simulación	43
A.0.2	Modelo Arena	50
	<i>Índice de Ilustraciones</i>	51
	<i>Índice de Figuras</i>	53
	<i>Índice de Gráficos</i>	55
	<i>Bibliografía</i>	57

# 1 RESUMEN

---

En este proyecto se va a estudiar el flujo de mercancías dentro del Puerto de Algeciras, en búsqueda de mejoras que se pudieran realizar en el mismo con vistas a buscar posibles mejoras en el funcionamiento de este que pudieran aumentar su eficacia. Dicho estudio se realizará utilizando el software Arena.

Al Puerto de Algeciras llega mercancía por barco, por tren y por carretera en camiones. En este proyecto se estudiará el flujo de mercancías por estos tres medios de transporte y, además, la mercancía a granel que llega en barcos. Se estudiará las diferentes etapas y procesos por los que pasa la mercancía dentro del recinto portuario antes de abandonar el mismo.

Además de estas mercancías, en el Puerto de Algeciras se produce un flujo de pasajeros y de mercancía procedente de la lonja de Algeciras que no se encuentran dentro del alcance de este proyecto.



## 2 ABSTRACT

---

*“In this project, the flow of merchandises of the Algeciras’ Port will be studied, with the aim of finding improvements in the functioning of this port that could possibly increase its efficiency. The study will be conducted using the software Arena.”*

*“To the Algeciras’ port, merchandise arrives in boats, in trains and through the road in trucks. In this project the flow of merchandises on this means of transport will be studied, as well as the bulk commodity that arrives in boats. It will also be studied the different stages and processes, which must be passed by the merchandise inside the port enclosure before leaving it.”*

*“Apart from these merchandises, in the Algeciras’ Port is produced a flow of passengers and merchandise from the Algeciras’ slice that are not inside the scope of this project.”*



# 3 INTRODUCCIÓN

---

Dado el considerable nivel de globalización en el que se encuentra inmersa la sociedad actual, el comercio internacional ha aumentado acorde a esta mayor globalización.

Este aumento del comercio internacional se debe, en gran parte, a un aumento del comercio marítimo dado que este es el medio mas eficiente y menos costoso de transportar grandes volúmenes de mercancías

Dicho incremento del comercio marítimo ha obligado, también, a evolucionar a las terminales portuarias. Para hacer frente a estos desafíos, los puertos se han dotado de nuevas infraestructuras y maquinaria.

Además, las terminales son grandes almacenes de mercancías, pero debido al aumento en el trasiego de ellas, han tenido que convertirse en grandes centros logísticos y con el objetivo de ir mejorando su eficacia.

A raíz de estos acontecimientos surgió el problema de la logística interna en lo referido al transporte de contenedores en una terminal portuaria. Este problema se conoce en la literatura como “The landside transport”, que corresponde a la gestión de transporte terrestre dentro de la zona portuaria.

El problema ha sido enfocado desde una gran variedad de puntos de vista como la minimización de la distancia recorrida por los camiones que transportan los contenedores, la minimización del tiempo que necesita el contenedor para llegar a su destino o la gestión de la maquinaria con vista a reducir los tiempos de espera. En este tipo de modelos se planifican todos los movimientos de contenedores que se realizan en una terminal de contenedores. Desde su desembarco cuando llegan a puerto hasta que salen hacia sus destinos por mar o tierra.

En concreto, el objetivo de este proyecto es el modelado y la posterior simulación del recorrido que realizan los contenedores dentro del recinto portuario del puerto de Algeciras. Se modelarán varias soluciones buscando minimizar el tiempo que los contenedores emplean en movimientos dentro del puerto antes de salir hacia sus destinos.



# 4 EL PUERTO DE ALGECIRAS

---

## 4.1 Historia del Puerto de Algeciras

Los inicios del puerto de Algeciras se remontan a finales del siglo XIX, cuando en 1894 se construye un muelle de madera en la desembocadura del río de la Miel. Unos años más tarde, en 1906, y coincidiendo con conferencia de Algeciras, se crea la Junta de Obras del Puerto y comienza así su crecimiento.

En 1913 se empieza a construir el muelle de Alfonso XIII, llamado coloquialmente Muelle de Galera. En 1916 se construye la Dársena de Villanueva.

Las ampliaciones en los muelles son cada vez más complicadas debido a que comienzan a apoyarse en la Isla Verde y no en tierra firme. Para facilitar la construcción sobre el mar, en 1923, se instalan dos grandes grúas, Goliat y Titán, que posibilitaban el manejo de las grandes piedras que llegaban en barcazas. Gracias a las piedras que movían estas dos grúas, en 1926 se termina de construir un puente que unía Isla Verde con tierra y por el que pasaba el ferrocarril.

En 1930 se construye la dársena pesquera y en 1932 el dique norte que resguardaba al primitivo Puerto de Algeciras de los temporales.



**Ilustración 4.1** Esquema del Puerto del Algeciras en 1932

El gran auge del puerto llega en la segunda mitad del siglo XX. En 1964, se instala en la orilla de la Bahía de Algeciras una refinería de petróleo de CEPSA y una factoría de acero inoxidable de Acerinox. Estas instalaciones disponen de sus propios atraques, fuera del Puerto de Algeciras, al norte de la bahía para el manejo de las mercancías con las que trabajan.

Hasta la instalación de estos dos complejos industriales en la Bahía de Algeciras, la pesca y el transporte de pasajeros entre la península y el norte de Marruecos eran las principales actividades del Puerto de Algeciras.



**Ilustración 4.2** Esquema del Puerto de Algeciras en 1964

Como se puede observar comparando la Ilustración 4.1 con la Ilustración 4.2, el Puerto de Algeciras sufre un crecimiento exponencial. Debido en mayor medida de la industrialización que experimenta la Bahía de Algeciras en esta época.

En los años setenta el tráfico de contenedores experimenta un enorme aumento. La instalación de grandes navieras, como Sea Land o Maersk, contribuye de manera muy importante al desarrollo y expansión del puerto de Algeciras.

Actualmente, el Puerto de Algeciras es una referencia de terminal portuaria a nivel mundial. Su gran capacidad operativa, su situación geográfica y la rapidez y eficacia en el movimiento de la mercancía dentro de la terminal portuaria han contribuido a este crecimiento.

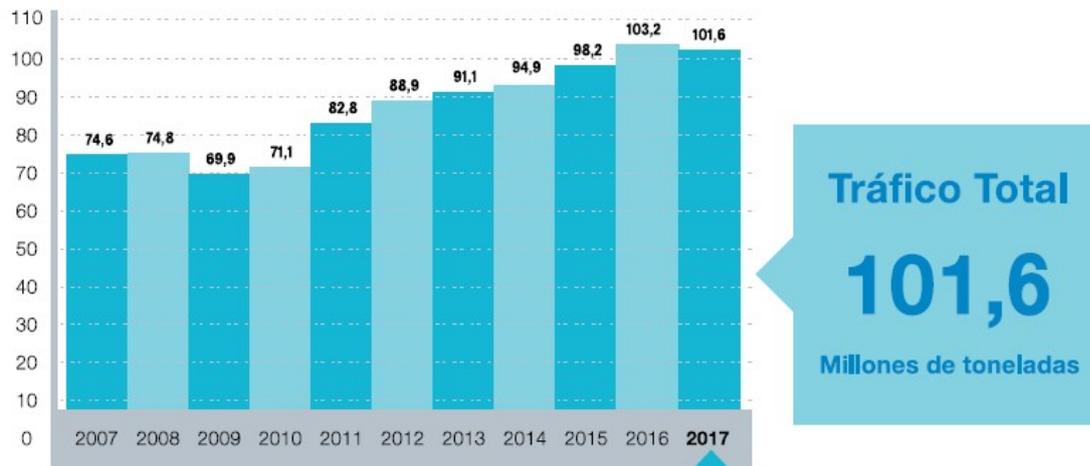


**Ilustración 4.3** Panorámica actual del Puerto de Algeciras

## 4.2 Estadísticas del Puerto de Algeciras

En primer lugar, hay que indicar que los datos usados en este punto del trabajo están extraídos de la memoria anual del año 2017.

Durante dicho año, en total, se superan los cien millones de toneladas de tráfico total. Cifra que supone un leve retroceso respecto al año 2016, aun así se mantiene como el segundo año con mayor actividad en la última década. En el siguiente gráfico se aprecia la evolución del tráfico durante los últimos diez años.



**Gráfico 4.1** Evolución del tráfico total entre 2007 y 2017

De entre las mercancías que llegan a una terminal portuaria, *grosso modo*, se hace la distinción entre mercancía general, granel sólido y granel líquido.

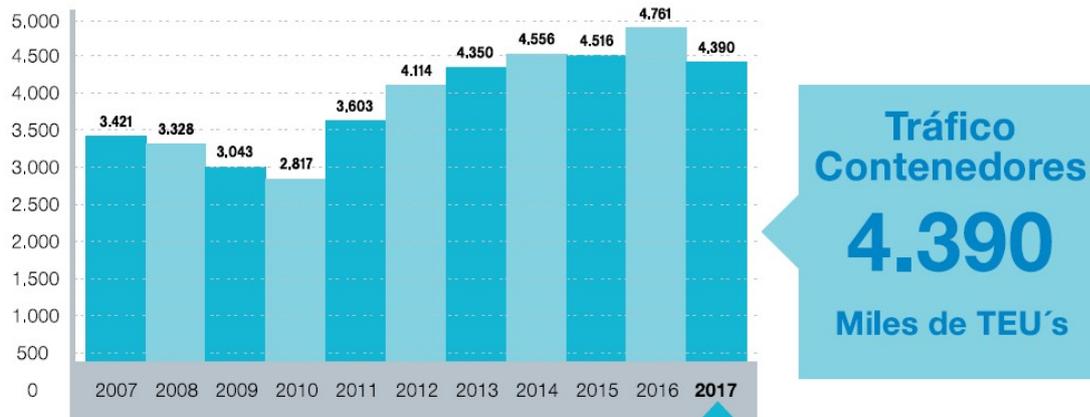
Se define el TEU (unidad equivalente a veinte pies) como una unidad de medida inexacta del transporte marítimo. Una TEU equivale a la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies (6,1 metros).



**Ilustración 4.4** Contenedor normalizado de 20 pies

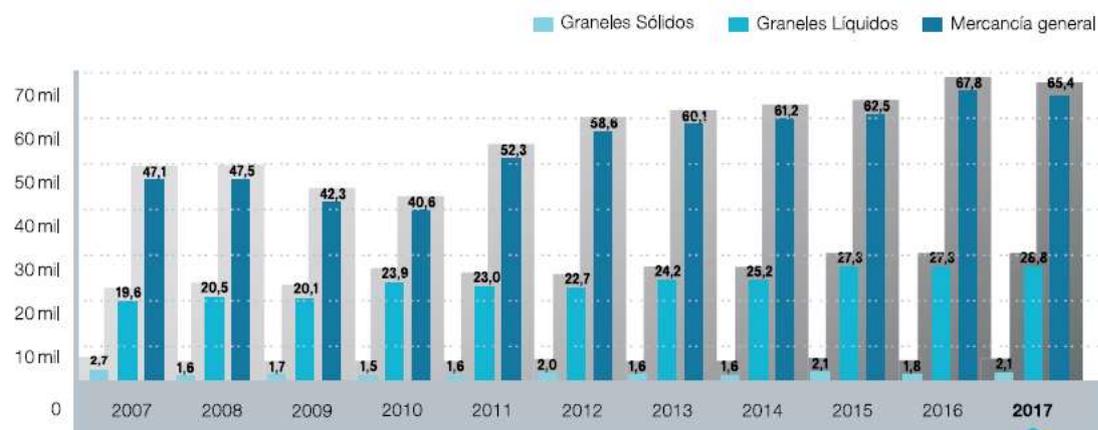
En el puerto de Algeciras, la mercancía general supone el mayor porcentaje de la mercancía que se mueve dentro del recinto portuario, Un total de 65,4 millones de toneladas. La mayoría de esta

mercancía general se mueve dentro de contenedores, es decir, es mercancía contenerizada (57,6 millones de toneladas de los 65,4 millones de toneladas de mercancía que se mueven). En 2017 se movieron en el Puerto de Algeciras 4.390 miles de *TEU's* lo que supone la cifra más baja de los 4 años anteriores.



**Gráfico 4.2** Evolución del tráfico de contenedores entre 2007 y 2017

Las mercancías a granel que se mueven en el Puerto de Algeciras supusieron 28,9 millones de toneladas en el año 2017, siendo gran parte de estos 28,9 millones de toneladas mercancía granel líquida. La mercancía a granel no ha experimentado cambios significativos desde el año 2015.



**Gráfico 4.3** Evolución de la cantidad de mercancía entre los años 2007 y 2017

Además del transporte de mercancías, el Puerto de Algeciras supone el enlace marítimo para personas y vehículos con la Ciudad Autónoma de Ceuta y con la ciudad marroquí de Tánger. Durante el año 2017, pasaron a través del Puerto de Algeciras un total de 4 millones de pasajeros aproximadamente y alrededor de un millón de vehículos (autobuses, motos, coches y furgonetas) a través de las líneas regulares operadas por Transmediterránea, FRS y Balearia.



**Ilustración 4.5** Buque AVEMAR DOS de la empresa Balearia fondeado en el atraque nº 9 de la Dársena de la Galera del Puerto de Algeciras

Aunque el Puerto de Algeciras no cuente ya con una gran flota pesquera, la lonja de pescado sigue funcionando. En el año 2017 se vendieron en la lonja del Puerto de Algeciras unos 800.000 kilogramos de pescado fresco, con un valor de venta superior a los dos millones de euros.

### 4.3 Servicios y equipamiento del Puerto de Algeciras

El principal objetivo del Puerto de Algeciras es el de servir como nodo para el cambio del modo de transporte. En su operativa interna ha realizado diferentes procesos o servicios que en un conjunto permiten lograr el objetivo general. A continuación, se procede a explicar los principales servicios ofertados.

#### 4.3.1 Carga y descarga de buques

Este servicio comprende desde la descarga de los contenedores que llegan a la TCP como destino final o de paso y la carga de los contenedores que salen de la TCP.

Están enfocados a las líneas de transporte marítimo ya que son estas las que directamente están afectadas por el tiempo que demora la operación, la cual depende de la velocidad de carga y descarga medida en TEUs/hora.

El objetivo principal es minimizar el tiempo que permanece un buque atracado en el puerto, para ello se tendrán que tener en cuenta los siguientes factores:

- El tamaño, la velocidad y el número de grúas de que se disponga.
- El grado de automatización de las grúas, así como el tipo de vehículo utilizado para el transporte y el número de operarios necesarios para ello.
- Los sistemas de comunicación desarrollados con el resto de la terminal.
- El nivel de capacitación de los recursos humanos implicados en la operación.
- La exactitud de la información suministrada por el consignatario, en lo que a la llegada y demás datos del buque se refiere.
- Las dimensiones del muelle.
- El grado de estandarización de la mercancía manipulada.

En la Ilustración 4.6 se puede observar la maniobra de descarga del barco *Maersk Mckinney Moller* en el muelle Juan Carlos I, llevada a cabo por varias grúas pórtico de muelle distribuidas a lo largo del mismo.



**Ilustración 4.6** Buque Maersk Mckinney Moller atracado en el Puerto de Algeciras

### 4.3.2 Almacenamiento temporal de mercancía

Este servicio se presta a los dueños de las mercancías que están en el interior de los contenedores, la cual puede ser de importación o de exportación. Ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal. Su disposición y dimensiones están relacionados tanto con el tráfico de contenedores que soportará la terminal como con los diferentes equipos de manipulación escogidos.

Este servicio responde a la necesidad de disponer de una superficie de almacenamiento en proporción con los distintos requerimientos impuestos por la demanda de estos. El almacenamiento es por lo general durante cortos períodos de tiempo, es decir, mientras llega el medio de transporte (camión, tren u otro barco) en el que tienen que ser cargados.

El aumento del tráfico marítimo, de la tasa de contenerización, del porte de las embarcaciones, la concentración progresiva en pocos puertos, etc., han requerido de los puertos la disposición de enormes superficies de almacenamiento de contenedores. La gestión de esta zona se ha convertido en esencial para el buen funcionamiento de las terminales.

El principal objetivo de este servicio es proporcionar una forma eficaz de atender los diferentes ritmos que existen entre la carga y descarga de buques, y la recepción y entrega de las mercancías a los medios de transporte terrestre. Para ello se precisa de una superficie de almacenamiento que es atendida por diferentes medios de manipulación, cuya elección dependerá de diversos factores.

El diseño de la zona de almacenamiento viene determinado, en gran medida, por el tipo de medios de manipulación que se van a utilizar. Estos, a su vez, permiten grados de apilamiento y posibilidades de automatización muy dispares de manera que la elección de estos medios condiciona de una manera esencial a la propia terminal.

Los sistemas de manipulación que posee el Puerto de Algeciras son:

- Grúa pórtico de muelle.
- Grúa móvil.
- Carretilla elevadora para contenedores.
- Cabezas tractoras.
- Bateas.

Estos equipos de manipulación de contenedores serán explicados más adelante.

Además de todo lo expuesto anteriormente, también hay que tener en cuenta zonas adicionales debido a factores como:

- La existencia de contenedores refrigerados requiere de la disposición de unas zonas de almacenamiento que cuenten con las conexiones eléctricas necesarias para que estos contenedores puedan mantener la cadena de frío.
- Los contenedores que transportan mercancías peligrosas deben ser situados en algunos casos en lugares separados del tráfico ordinario, de manera que se cumplan las exigencias de seguridad. En otros casos es suficiente con que se segreguen unos de otros, respetando unas distancias mínimas.
- Inspecciones de contenedores requeridas por organismos públicos que se realizan en el Puesto de Inspección Fronteriza (PIF).

Además, en la zona de almacenamiento se sitúan distintas edificaciones, entre las que destacan:

- Edificios de oficinas de la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras. En las oficinas tienen lugar las operaciones administrativas que conlleva la actividad empresarial, y la relación con los clientes. En la sala de control se deciden, controlan y registran las operaciones que tienen lugar en la terminal.
- Capitanía marítima desde donde se controla el tránsito de embarcaciones dentro de las instalaciones portuarias.
- Edificios de las fuerzas y cuerpos de seguridad (Guardia Civil, Policía Portuaria, Vigilancia Aduanera, Policías Nacional y Salvamento marítimo) donde desarrollan las actividades que tienen asignado cada cuerpo.



**Ilustración 4.7** Sede de Capitanía Marítima en Algeciras

### **4.3.3 Cambio de modo de transporte**

Este servicio de cambio de modo de transporte se encarga de la interfaz terrestre, es decir, donde se tiene que atender a dos modos de transporte bien definidos: el de transporte por carretera y el del

ferrocarril. El primero de ellos presenta un gran grado de automatización y con requerimientos muy variables, lo que conlleva complejos condicionantes a la terminal.

Con frecuencia se observa que la terminal se adapta a los ritmos del transporte terrestre. Por el contrario, el ferrocarril permite concentrar la actividad en los momentos que mejor convengan a la terminal, además, permite obtener niveles elevados. Sin embargo, este modo de transporte suele suponer únicamente un pequeño porcentaje del tráfico terrestre que accede a la terminal.

El principal objetivo de este subsistema es facilitar la recepción o entrega de mercancías de una manera rápida.

Los elementos que más afectan a este subsistema son:

- El tipo de tráfico de la terminal, en el sentido de que predomine el transbordo o el comercio exterior.
- El número de puertas que existen para atender a los vehículos que acceden o salen de la terminal.
- El sistema de obtención e intercambio de información establecido en este punto, especialmente el medio de obtención y de comunicación al control central de la terminal.
- La inspección física y de control de precinto del contenedor, tanto a la entrada como en la salida.

El funcionamiento general de recepción y entrega viene a ser el siguiente: una vez los camiones han superado la cola de espera para los accesos y los respectivos trámites administrativos están en orden, los camiones se desplazan hacia la zona asignada para carga y descarga.

Esta zona suele estar ubicada cerca de los contenedores de importación y la colocación de los camiones está pensada para minimizar la distancia entre el camión y el contenedor que tiene que ser recogido.

En la Ilustración 4.8, se muestra la entrada y salida de camiones por las puertas que componen la entrada por carretera de una terminal de contenedores, en concreto, de la terminal de contenedores de Algeciras.



**Ilustración 4.8** Acceso para camiones del Puerto de Algeciras

Por lo que respecta al sistema ferroviario de mercancías, éste suele producirse en la misma terminal de contenedores, en la que los raíles discurren de forma paralela a la zona destinada para los camiones.

Pero no siempre se produce de esta forma, ya que en determinados puertos la transferencia de contenedores al sistema ferroviario se produce fuera de la terminal con zonas de almacenaje y sistemas operativos (grúas) propios, en estos casos es preciso una transferencia de contenedores desde la zona de almacenaje hacia esta subterminal.

#### **4.3.4 Equipos de manipulación de mercancía**

Las terminales portuarias tienen una infraestructura la cual les permite el cambio de modo de transporte, pero debido a las exigencias del mercado, adquieren maquinaria especializada para poder mejorar su rendimiento.

La tendencia en los puertos es poder realizar cada vez más operaciones de forma automatizada, lo que ha dado lugar a nuevas propuestas en maquinaria y modelos de gestión.

Algunos estudios realizan propuestas de automatización de las terminales para mejorar su rendimiento. De igual modo existen otras propuestas basadas en herramientas tecnológicas que proponen un software para la gestión del tráfico de mercancías dentro del recinto portuario.

A continuación, se va a describir los tipos de maquinaria de los que dispone el Puerto de Algeciras:

##### **4.3.4.1 Grúas pórtico**

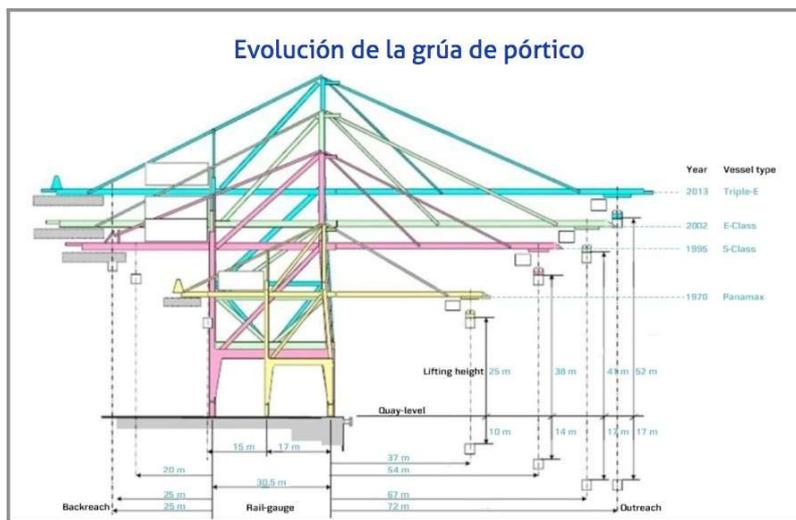
Las grúas pórtico son el principal equipo de manipulación para realizar la carga y descarga de contenedores en las terminales portuarias. Estas grúas son de gran importancia ya que es la única manera de realizar las operaciones de carga y descarga de los buques. El Puerto de Algeciras dispone de 27 grúas de este tipo.



**Ilustración 4.9** Grúas pórtico en el muelle Juan Carlos I

Se desplazan a través de unos carriles instalados en la terminal y pueden descargar entre 12 y 60 contenedores por hora, según lo modernas que sean. Pueden ser controladas de forma automática o manual, en caso de estar controlada manualmente la grúa posee una cabina suspendida en la parte superior del pórtico, con el suelo de cristal, desde donde, el operario de la grúa controla la carga y descarga de contenedores.

Las grúas pórtico han tenido que evolucionar de forma paralela a los buques portacontenedores para poder adaptarse a la tendencia del gigantismo que se está dando actualmente en el diseño de nuevo buques portacontenedores. En la Ilustración 4.1 se observa como han ido creciendo y evolucionando las grúas pórticos.



**Ilustración 4.10** Evolución de las grúas pórtico

#### 4.3.4.2 Grúa “*Rubber Tired Gantry (RTG)*”

La grúa “*Rubber Tired Gantry*” (RTG) se mueve usando neumáticos y son utilizadas en las zonas de almacenaje para cargar contenedores de ésta y depositarlos en medios de transporte terrestre y viceversa. El rendimiento de las RTGs actuales está entre 30 y 60 contenedores a la hora y se desplazan a una velocidad de unos 60 a 70 m/min. El Puerto de Algeciras dispone de sesenta y cinco grúas tipo RTG.



**Ilustración 4.11** Grúa RTG en el Puerto de Algeciras

#### 4.3.4.3 Grúa “*Rail Mounted Gantry*”

La grúa pórtico “*Rail Mounted Gantry*” (RMG) se mueven por raíles y son las más usadas para cargar contenedores en trenes y depositarlos en medios terrestres que se mueven entre esta zona y la zona de almacenaje, y viceversa, aunque también se usan en las zonas de almacenaje. Tienen una velocidad de desplazamiento mayor que las RTGs, de entre 90 y 150 m/min. El Puerto de Algeciras dispone de treinta y dos grúas de este tipo.



**Ilustración 4.12** Grúa RMG de la Total Terminal Internacional de Algeciras (TTI Algeciras)

#### 4.3.4.4 Grúa “*Shuttle Carrier*”

La carretilla pórtico, conocido como “*Shuttle Carrier*” en la literatura inglesa, es uno de los equipos que más recorrido realiza a lo largo de la terminal y su función es coger los contenedores que han colocado en tierra anteriormente otros equipos de mayor tamaño para llevarlos a otra localización.



**Ilustración 4.13** Shuttle Carrier de la TTI Algeciras

Es capaz de realizar movimientos tanto verticales como horizontales por lo que se considera una herramienta de alta versatilidad. Su mayor virtud es proporcionar una alta velocidad en la operación. El Puerto de Algeciras dispone de veintidós grúas tipo *shuttle carrier*.

#### 4.3.4.5 Equipos de manipulación frontal

Dentro del Puerto de Algeciras se utilizan dos tipos de equipos de manipulación frontal:

- El “*Front Lift Truck*”, o cargador frontal, permite manipular los contenedores gracias a un sistema de enganche en la base del contenedor. Debido a que los movimientos permitidos son dentro del mismo plano vertical (subir/bajar el mástil), el ancho máximo en la zona de almacenaje será de dos filas. El Puerto de Algeciras dispone de 7 grúas de este tipo.



**Ilustración 4.14** Equipo de manipulación frontal tipo *Front Lit Truck*

- El “*Reach Stacker*”, o grúa apiladora, es otro equipo de manipulación frontal, similar al cargador frontal, pero como manipula el contenedor con un brazo hidráulico puede alcanzar segundas hileras, con lo cual la zona de almacenaje se amplía hasta poder tener cuatro filas. El Puerto de Algeciras dispone de seis grúas tipo *reach stacker*.



**Ilustración 4.15** Grúa apiladora trabajando sobre un tren en el Puerto de Algeciras

#### 4.3.5 Cabezas tractoras

Las cabezas tractoras son muy utilizadas para el transporte horizontal de mercancías, debido a que la rapidez y flexibilidad de la que disponen. En un mismo tráiler puede llevar contenedores de distintas medidas.

Son muy eficaces a la hora de descargar un barco que lleve contenedores, pero sobre tráiler, es decir, el caso en que los contenedores son transportados en la bodega de un barco de pasajeros junto a otros vehículos o de un barco de mercancías (que difiere de un buque portacontenedores). Dado que los contenedores ya están sobre una plataforma, las cabezas tractoras lo descargan con mucha rapidez.



**Ilustración 4.16** Cabeza tractora descargando un tráiler de un barco de mercancías en el Puerto de Algeciras

El inconveniente reside en su dependencia para poder mover la mercancía que se descarga de un barco portacontenedores o de un tren, es decir, necesitan a una grúa que cargue el contenedor en su plataforma. En el Puerto de Algeciras operan, en total, 123 cabezas tractoras.



**Ilustración 4.17** Flota de cabezas tractoras del APM Terminlas del Puerto de Algeciras

#### 4.3.6 El contenedor

El contenedor es el componente principal en las terminales portuarias. Su aparición propició una revolución en el transporte y en poco tiempo obtuvo una gran aceptación por parte de los comerciantes y de los diferentes actores involucrados.

Las navieras comenzaron a rediseñar sus buques de tal manera que pudiesen transportar estas nuevas unidades de carga, que proporcionaban funcionalidad, rapidez y seguridad. Los beneficios más importantes que se producen al usar contenedores son:

- Reducción de los tiempos de carga y descarga.
- Reducción de los controles e inspecciones al ir precintados.
- Reducción de las primas del seguro al evitar robos y daños.
- Reducción de costes al ser menores los tiempos de transporte.
- Simplificación documental.
- Mejora del seguimiento de la mercancía por ordenador.

Dadas las ventajas económicas, de rapidez de maniobra y de seguridad que proporciona la contenerización a las líneas navieras, en 1951 se inicia la especialización en la actividad, con la construcción de los primeros buques portacontenedores en Dinamarca, y la construcción de las primeras terminales especializadas, dotadas de la infraestructura y de los equipos necesarios para operar estos contenedores de y hacia los buques, con enlaces de transferencia ferroviaria y carretera.

En sus inicios las líneas navieras o los empresarios dueños de las cargas quisieron diseñar los contenedores de acuerdo a sus necesidades, hasta que en la década de los sesenta se establece la estandarización de las medidas, materiales y pesos de los contenedores, que facilitará su uso en todos los medios de transporte (buques, camiones, ferrocarriles y aviones). Esta contenerización se generaliza creándose la modalidad del servicio intermodal o multimodal de carga.

En 1965, la ISO (“International Standard Organization”) creó las normas para la estandarización de los contenedores, normalizando internacionalmente el contenedor en diseño, dimensiones, capacidad de carga, cubicaje, etc. El contenedor lo definió como: “*Se entiende por contenedor un instrumento de transporte que reúne las siguientes características:*

- *Carácter permanente o suficientemente resistente para permitir su uso repetido.*
- *Especialmente concebido para facilitar el transporte de mercancías sin rotura de carga, por uno o varios modos de transporte.*
- *Provisto de dispositivos que permitan su manipulación, principalmente al tiempo de su transbordo de un medio de transporte a otro.*
- *Ideado de manera que resulte fácil su carga y descarga.*
- *Su volumen interior es de un metro cúbico como mínimo.”*

Esta definición está registrada en la norma UNE 49-751 h1, junto con esta definición se establecieron los diferentes tipos de contenedores manejados y aceptados a nivel mundial de acuerdo a los propósitos o funcionalidades que tengan. En la se procede a describir e ilustrar cada tipo de contenedor:

Tabla 4.1 Tipos de contenedores

Tipo	Uso	Ilustración
"Dry van" o contenedor seco	Es adecuado para cualquier tipo de carga.	 <p data-bbox="836 544 1289 577"><i>Ilustración 4.18 Contenedor "dry van"</i></p>
"Reefer" o refrigerado	Estos contenedores proporcionan una temperatura controlada dentro del mismo. Es adecuado para mercancías que requieren estar a una temperatura específica, por ejemplo, los alimentos.	 <p data-bbox="836 835 1289 869"><i>Ilustración 4.19 Contenedor refrigerado</i></p>
"Open Top"	Poseen el techo removible lona por si la mercancía fuera demasiado voluminosa para ir en un "Dry Van".	 <p data-bbox="836 1120 1289 1153"><i>Ilustración 4.20 Contenedor "open top"</i></p>
"Flat Rack"	Es un contenedor que carecen de paredes laterales e incluso, en algunos casos, de paredes delanteras y posteriores.	 <p data-bbox="836 1411 1289 1444"><i>Ilustración 4.21 Contenedor "flat rack"</i></p>
"Open Side"	Poseen únicamente una abertura lateral, esto lo hace idóneo para transportar mercancías muy largas, cuyas dimensiones impiden que se puedan cargar por la puerta trasera.	 <p data-bbox="836 1688 1289 1722"><i>Ilustración 4.22 Contenedor "open side"</i></p>
"Tank" o cisterna	Utilizados para transportar cualquier mercancía en estado líquida.	 <p data-bbox="863 1966 1273 2000"><i>Ilustración 4.23 Contenedor "tank"</i></p>

Los contenedores tienen las medidas que se describen en la Tabla 4.2. Dichas medidas pueden sufrir leves variaciones en función del fabricante o del tipo de contenedor.

**Tabla 4.2** Medidas de un contenedor

<b>Tipo de contenedor</b>	<b>Medidas</b>			<b>Capacidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso bruto máximo total (kg)</b>
	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Alto (m)</b>		
20 pies	6,058	2,438	2,438	36	30.480
40 pies	12,032	2,438	2,438	71,5	32.500
40 pies High Cube	12,032	2,438	2,698	79,14	32.500



# 5 SOFTWARE ARENA

---

El software Arena es un programa de simulación que ha sido diseñado para su uso en las diferentes funciones que se pueden dar en una empresa, permitiendo el análisis de los procesos a llevar a cabo en una determinada función en la empresa (fabricación, logística o servicio al cliente, por ejemplo), así como el análisis de procesos en los que intervienen varias áreas funcionales.

Gracias a su gran versatilidad, Arena ofrece la facilidad de uso, flexibilidad y capacidad de modelado que se requiere para representar cualquier proceso de la empresa. La cantidad de funciones es muy amplia, como, por ejemplo: los procesos de aprovisionamiento, pasando por el almacenaje, fabricación, logística y distribución, hasta la gestión administrativa y el servicio y atención al cliente.

Para este proyecto se utiliza la versión Arena 14.0. En el software Arena existe un sistema de dibujo, basado en objeto. Se selecciona primero el objeto y luego, se opera sobre él. Esto propicia una representación visual del problema que facilita la comprensión de este tanto para el autor como para cualquiera que interactúe con el modelo del problema.

## 5.1 Menús

Al arrancar el programa nos aparecen cuatro opciones en la barra de herramientas: *“file”*, *“view”*, *“tools”* y *“help”*. Una vez abrimos un modelo nos aparecen también los siguientes menús, además de los mencionados anteriormente: *“edit”*, *“arrange”*, *“object”*, *“run”* y *“windows”*.

Muchos de los elementos que cuelgan de estas menús son funciones estándar de *“Windows”*, por lo tanto, sólo se entrará a explicar aquellos que sean específicos de Arena.

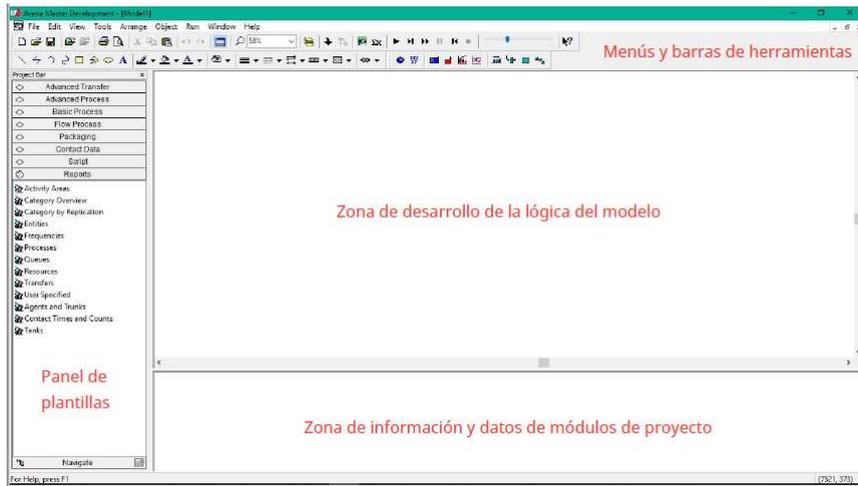
## 5.2 Barra de herramientas

El software posee varias barras de herramientas con grupos de botones y menús desplegables para poder facilitar el acceso directo a las funciones con mayor uso.

Las barras de herramientas disponibles en Arena son: la barra de herramientas *“standard”*, la barra de herramientas *“view”*, la barra de herramientas *“run interaction”* y la barra de herramientas *“arrange”*. Cada una de estas barras de herramientas se corresponde con la barra del menú del mismo nombre.

La barra de herramientas *“draw”* no tiene correspondencia con opciones de menú, por tanto, los dibujos únicamente se pueden realizar accediendo a la barra de herramientas. Así es como se pueden dibujar líneas o arcos para vestir al modelo.

En la Ilustración 5.1 se puede observar la ventana principal del Arena, es ahí donde se diseñará el modelo de simulación.



**Ilustración 5.1** Pantalla principal de Arena

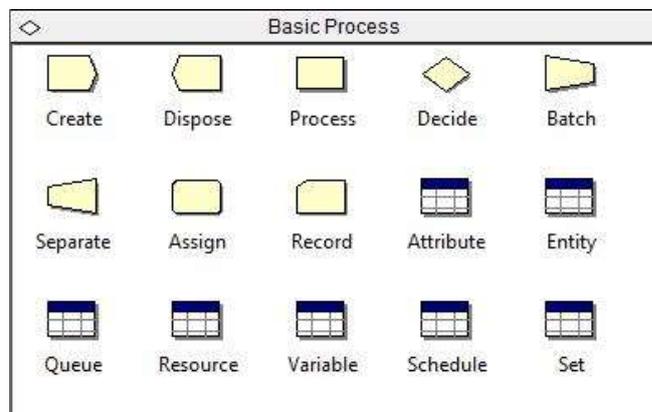
La barra “animate” contiene elementos que permiten animar el modelo o mejorar la animación que ya llevan algunos módulos de Arena.

La barra “interrogation” contiene botones relacionados con el asistente de Transferencia de Datos a Módulos de arena y VBA (Editor de Visual Basic y el botón de Modo Diseño de VBA).

La barra “animate transfer” sirve de interfaz con los objetos de animación de tipo transferencia de que dispone Arena para las animaciones de objetos de este tipo. En la parte izquierda del programa, se muestran una serie de paneles que contienen los módulos de que dispone Arena para diseñar los diagramas de flujo y que a continuación se pasará a comentar con más detalle.

### 5.3 Panel de procesos básicos de Arena

En este apartado se describirán los módulos de los que consta el Panel de Procesos Básicos, que se puede contemplar en la Ilustración 5.2, el cuál se ha utilizado en su mayoría para la realización del proyecto.



**Ilustración 5.2** Panel de proceos básicos de Arena

### 5.3.1 Módulo “create”

Este módulo representa la creación o también lo que se puede entender como llegada de entidades al modelo de simulación. Las entidades se crean usando una planificación previa o programando el tiempo entre llegadas. En este módulo se especifica también el tipo de entidad de que se trata.

### 5.3.2 Módulo “process”

En este módulo se procesan entidades de acuerdo a determinados servicios. Aquí se incluyen los recursos, las colas de espera y el tiempo de procesamiento. Este modulo posee los siguientes apartados:

- “*Priority*”. Establece la prioridad para la reserva del recurso.
- “*Delay Tipe*”. El tiempo de proceso puede seguir una distribución de probabilidad o una expresión matemática.
- “*Resource*”. Debe elegirse como se va a usar el recurso y para ello se disponen de las siguientes opciones:
  - “*Delay*”. La entidad se para (espera) aquí durante el tiempo especificado. No hay ningún recurso involucrado, por lo que múltiples entidades podrían estar realizando esta espera simultáneamente.
  - “*Seize delay*”. La entidad primero debe lograr acceder un cierto número de recursos disponibles (según se especifique), y entonces lo/s ocupa durante el tiempo especificado. Si el/los recurso/s no está/n disponible/s se liberarán en otro módulo más adelante.
  - “*Seize delay release*”. Es similar al tipo “*seize delay*”, pero la entidad libera el/los recurso/s una vez transcurrido el tiempo especificado.
  - “*Delay release*”. Se asume que la entidad ya ha ocupado el/los recurso/s en un módulo anterior. Ahora se produce la espera durante el tiempo especificado y finalmente se libera/n el/los recurso/s.

The screenshot shows the 'Process' dialog box in Arena. The 'Name' field is 'Process 1' and the 'Type' is 'Standard'. Under the 'Logic' section, the 'Action' is set to 'Delay'. The 'Delay Type' is 'Triangular', 'Units' is 'Hours', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Minimum' value is .5, 'Value (Most Likely)' is 1, and 'Maximum' is 1.5. The 'Report Statistics' checkbox is checked. The dialog has 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

Ilustración 5.3 Módulo “process”

### 5.3.3 Módulo “decide”

Este es un módulo que permite a los procesos tomar decisiones en el sistema. Consta de la opción de tomar decisiones basándose en una o más condiciones o en basándose en probabilidades.

Las condiciones también se pueden basar en los valores de los atributos, valores de variables, tipo de entidad una expresión a definir por el usuario.

El módulo consta de dos puntos de salida cuando se especifica el tipo “2-way chance” o “2-way condition”. Hay una salida para las entidades que cumplen la condición escogida y otra salida para las que no lo cumplen.

Cuando se especifica el tipo “N-way chance” o *N-way condition*, aparecen múltiples puntos de salida para cada condición o probabilidad y una única salida *else*, la cual es escogida por el sistema sino se cumple ninguna de las condiciones anteriores.

### 5.3.4 Módulo “assign”

La función de este módulo es asignar valores nuevos a las variables, a los atributos de las entidades, tipos de entidades, ilustración de las entidades, u otras variables del sistema. Se pueden hacer varias asignaciones con un único módulo “assign”.

### 5.3.5 Módulo “batch”

Este módulo realiza una función de agrupamiento dentro del modelo de simulación. Los lotes de elementos pueden estar agrupados durante todo el modelo o sólo temporalmente.

Los lotes temporales deben ser divididos posteriormente usando el módulo “separate”. Los lotes se pueden realizar con un número específico de entidades de entrada o se pueden unir a partir del valor de un determinado atributo. Las entidades que van llegando a un módulo “batch” se van colocando en una cola hasta que se ha acumulado el número necesario de entidades, una vez acumuladas, se crea una nueva entidad.

Se puede entender este módulo como el ensamblaje de una serie de elementos para dar otro elemento nuevo.



**Ilustración 5.4** Módulo Batch

### 5.3.6 Módulo “*separate*”

La función de este módulo es separar la entidad entrante en múltiples entidades o dividir una entidad previamente agrupada mediante un módulo “*batch*”. Se especifican también las reglas de asignación de atributos para las entidades miembro.

Cuando se segmentan los lotes existentes, la entidad temporal que se había formado se destruye y las entidades que la formaban se recuperan.

Las entidades saldrán del sistema secuencialmente en el mismo orden en que se agregaron al lote en el origen de este.

Cuando se duplican entidades, se hacen el número de copias especificado.

### 5.3.7 Módulo “*record*”

Este módulo se usa para recoger estadísticas del modelo de simulación. Se dispone de varios tipos de estadísticas observables, incluyendo el tiempo entre salidas a través del módulo, estadísticas de entidad (tiempo, costes, etc.), observaciones generales, y estadísticas de intervalo.

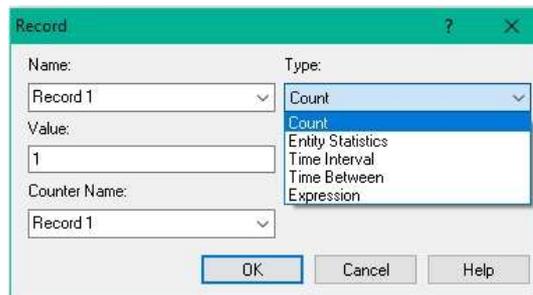


Ilustración 5.5 Módulo “*record*”

### 5.3.8 Módulo “*dispose*”

Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación dónde se recogen los datos de las entidades que van entrando en el mismo. Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.

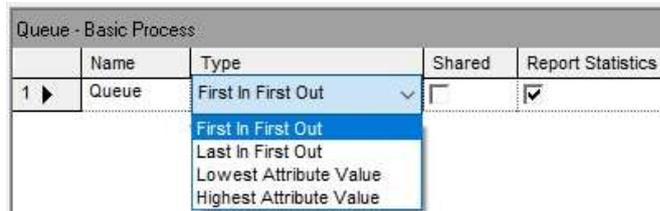
### 5.3.9 Módulo “*entity*”

Este es un módulo de datos donde se definen los diversos tipos de entidades y el valor inicial que van a tomar en la simulación

### 5.3.10 Módulo “*queue*”

Este es un módulo de datos que se suele usar para cambiar la prioridad de las entidades para una determinada cola.

La regla que define el orden de la cola es, por defecto, “*first in, first out*” (*FIFO*), que quiere decir que la primera entidad que entra a dicho módulo es la primera entidad que abandona el módulo, salvo que se indique otra regla. Hay un campo adicional que permite definir la cola como compartida. En la Ilustración 5.6 se pueden observar los criterios de salida que se pueden asociar a una cola.



**Ilustración 5.6** Modelo “*queue*”

### 5.3.11 Módulo “*resource*”

Este es un módulo de datos donde se definen los recursos de un sistema de simulación, incluyendo información de costes y disponibilidad del recurso.

Los recursos pueden tener una capacidad fija que no varía durante la simulación o pueden funcionar en base a una planificación. Los fallos y estados del recurso se pueden definir también en este módulo.

### 5.3.12 Módulo “*schedule*”

Este es un módulo de datos que se suele usar en conjunción con el módulo “*resource*” para definir la planificación de un recurso del sistema o con el módulo “*create*” para definir una planificación de llegada de entidades. Además, una planificación se puede usar y referir a factores de retardos de tiempo basados en el tiempo de simulación

### 5.3.13 Módulo “*set*”

Este es un módulo de datos donde se define varios tipos de conjuntos, incluyendo recursos, contadores, cuentas, tipos de entidad, e ilustraciones de entidad.

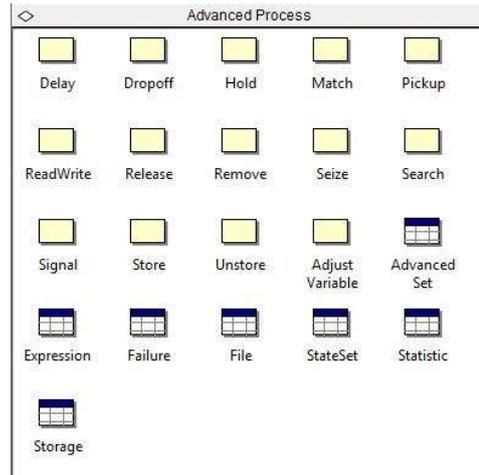
Los conjuntos de recursos se pueden usar en los módulos “*process*”.

### 5.3.14 Módulo *variable*

Este es un módulo de datos que se usa para definir una variable y su valor inicial. Las variables se pueden referenciar en otros módulos del modelo, se les puede asignar un valor nuevo y se pueden usar en cualquier expresión.

## 5.4 Panel de procesos avanzados

Además de los módulos explicados en el punto anterior, también se han usado módulos del panel de procesos avanzados. En la Ilustración 5.7 podemos observar todos los módulos que contiene el panel de procesos avanzados.



**Ilustración 5.7** Panel de procesos avanzados de Arena

### 5.4.1 Módulo “delay”

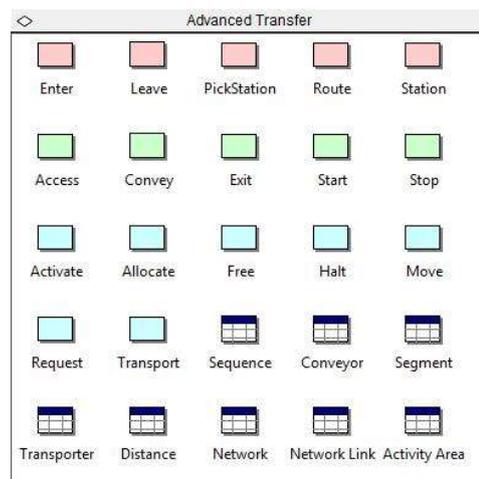
Este módulo se encarga de retrasar a las entidades que lleguen a él por el tiempo especificado. Retiene las entidades conforme llegan al módulo, es capaz de retener varias entidades a la vez. Un uso muy común de este módulo es para modelar tiempos de desplazamiento dentro del modelo.

### 5.4.2 Módulo “release”

Este módulo libera un recurso después de usarse.

## 5.5 Panel de transferencia avanzada

Para facilitar el modelo y la comprensión del modelo se pueden usar los módulos de este panel que permiten dividir en partes un modelo.



**Ilustración 5.8** Panel de transferencia avanzada

### 5.5.1 Módulo “route”

Este bloque traslada entidades hasta una estación determinada, simulando un tiempo de desplazamiento.

### **5.5.2    Módulo “*station*”**

Es un bloque usado para diferenciar las partes de nuestro sistema. Su uso hace más manejable el modelo y facilita la definición de los movimientos entre las distintas partes del sistema.

# 6 DESCRIPCIÓN DEL MODELO A SIMULAR

Para la simulación de este proyecto, en el modelo se representan las siguientes zonas del Puerto de Algeciras.

- Una zona habilitada para la llegada de trenes tanto para descargar mercancía como para cargarla y transportarla a otro lugar.
- Una zona de inspección de mercancías, llamado Punto de Inspección Fronteriza (PIF). Las instalaciones fronterizas de control sanitario de mercancías del Puerto de Algeciras fueron construidas en el año 1996 según la normativa europea para este tipo de instalaciones, siendo el único Puerto de España que en función de sus tráfico y horarios se cataloga como de Primera Categoría y tiene autorización de la Unión Europea para realizar importaciones y exportaciones de todo tipo de productos y de animales vivos, ungulados, équidos y otros animales.



**Ilustración 6.1** Entrada al PIF del Algeciras

- A la terminal también llega un flujo de camiones que vienen a cargar y descargar contenedores al Puerto de Algeciras.
- El flujo más importante de mercancía, por cantidad de mercadería, se corresponde con la llega vía marítima. Tanto en mercancía a granel como de contenedores.

A la hora de realizar la simulación, se distinguen dos zonas. Una primera zona estudia la mercancía contenerizada y la otra zona estudia la mercancía a granel.

## 6.1 Descripción de especificaciones de Arena

En el modelo se han definido cuatro tipos de entidades, dependiendo de la forma en que llegará la mercancía: contenedor barco, contenedor camión, contenedor tren y mercancía granel.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se detallan los recursos que dispone el modelado de Arena:

Tabla 6.1 Recursos del modelo

Nombre	Capacidad (uds)
Brazo Articulado Carga Descarga	9
Grúa	27
Cabeza Tractora	123
Inspector	15
Muelle Inspeccion	28
Carretilla	138

A continuación, se van a detallar unas aclaraciones sobre los recursos del modelo. El recurso carretilla abarca tanto grúas tipo RTG, RTM y “*Shuttle Carrier*” y los equipos de manipulación frontal cargador frontal y grúa apiladora. Se han agrupado todos ellos en un mismo recurso porque todos realizan la misma tarea, pero con diferencias de funcionamiento.

Se ha declarado una variable, llamada “TON\_ACU”, para el flujo de mercancía a granel que se explicará más adelante.

## 6.2 Descripción del modelo

En el modelo, se distinguen dos flujos de mercancías. Un flujo de mercancía contenerizada y otro de mercancía a granel.

En la Ilustración 6.2, se observa la zona de mercancía a granel. Una vez ha estado la mercancía almacenada en alguno de los tanques que dispone el Puerto de Algeciras, se le debe dar salida a la misma. En este zona la mercancía se medirá en toneladas.

Para decidir en que medio de transporte se carga la mercancía se usará una variable (llamada “TON\_ACU”), que controlará la cantidad de mercancía que está disponible. Si dispongo de menos de 40 toneladas, se almacena en los tanques de almacenamiento. Si dispongo entre 40 y 100 toneladas, lleno un camión (que dispone de 40 toneladas de capacidad) y actualizo la variable “TON\_ACU”. Si dispongo de más de 100 toneladas, llenare un tanque de un barco (que tiene 100 toneladas de capacidad) y luego actualizaré la variable “TON\_ACU”.

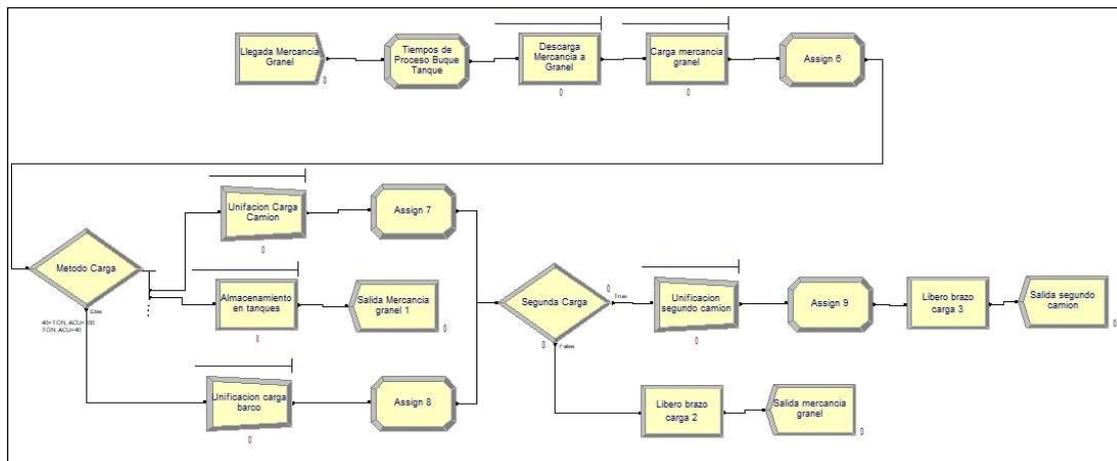
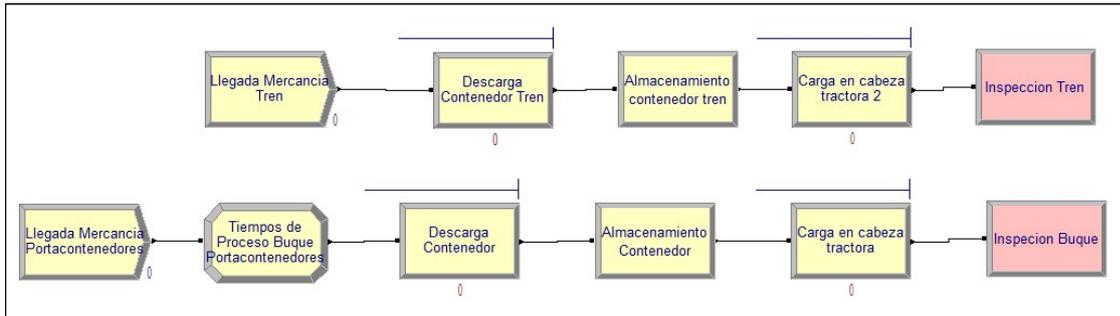


Ilustración 6.2 Zona de mercancía a granel

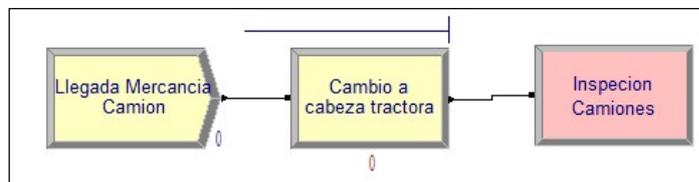
La mercancía que llega en contenedores lo puede hacer por tres medios de transporte diferentes, camión, tren o barco.

El tratamiento de la mercancía es el mismo si llega en barco o en tren. La mercancía se debe descargar y transportarla al Punto de Inspección Fronteriza (PIF) para su inspección. El transporte al PIF lo hace siempre una cabeza tractora. En la **Ilustración 6.3** Zona de llegadas de mercancías en barco y tren se Ilustración 6.3 observa como se han modelado estos dos procesos. Al final de cada proceso se observa unos módulos llamados “Inspección Tren” e “Inspección Buque”, dichos procesos son tipo



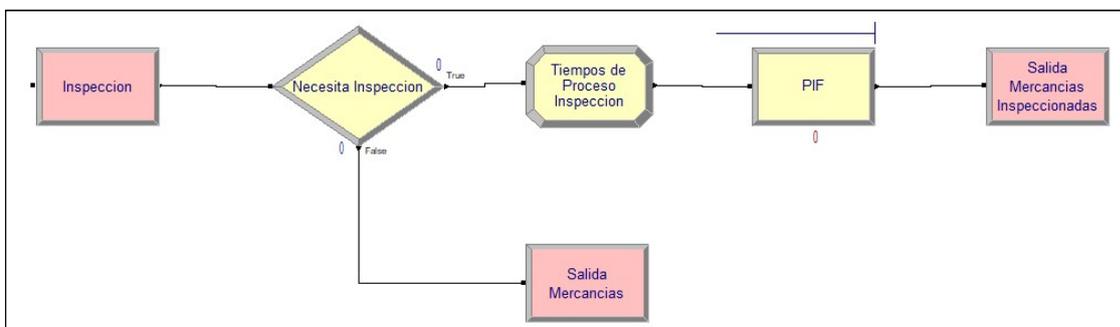
**Ilustración 6.3** Zona de llegadas de mercancías en barco y tren

Cuando una mercancía llega en camión, dicho remolque debe ser recogido por una cabeza tractora para realizar los movimientos dentro de la terminal portuaria.



**Ilustración 6.4** Zona de llegadas de mercancías en camión

Una vez la mercancía se ha recepcionado, se procede al traslado al Puesto de Inspección Fronteriza para su inspección. No todas las mercancías requieren de inspección, así que las que no lo requieren pasan directamente a la zona de carga de mercancías.



**Ilustración 6.5** Zona de inspección

Cuando las mercancías están preparadas para abandonar el puerto, se produce una incompatibilidad a la hora de elegir el medio de transporte. Por ejemplo, si una mercancía llega en camión no puede abandonar el puerto en camión. Esta incompatibilidad se produce porque un puerto es un enlace en el trayecto de una mercancía, es decir, un punto intermedio en el trayecto de esta. La excepción se produce cuando una mercancía llega en barco que si puede abandonar el puerto en barco. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se explica esta incompatibilidad.

Tabla 6.2 Tabla de incompatibilidades

Medio de llegada ↓	Medio de salida →	Barco	Tren	Camión
<b>Barco</b>		Sí	Sí	Sí
<b>Tren</b>		Sí	No	Sí
<b>Camión</b>		Sí	Sí	No

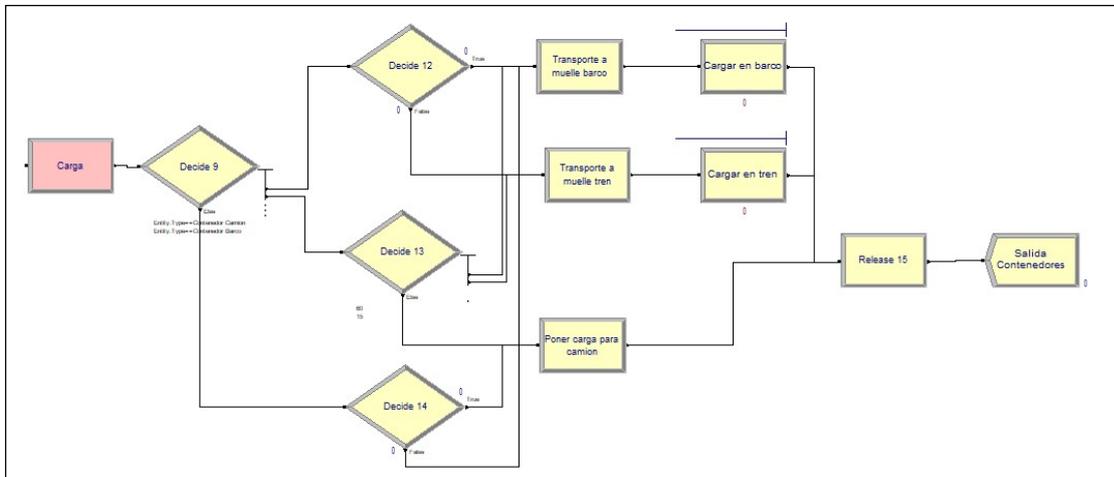
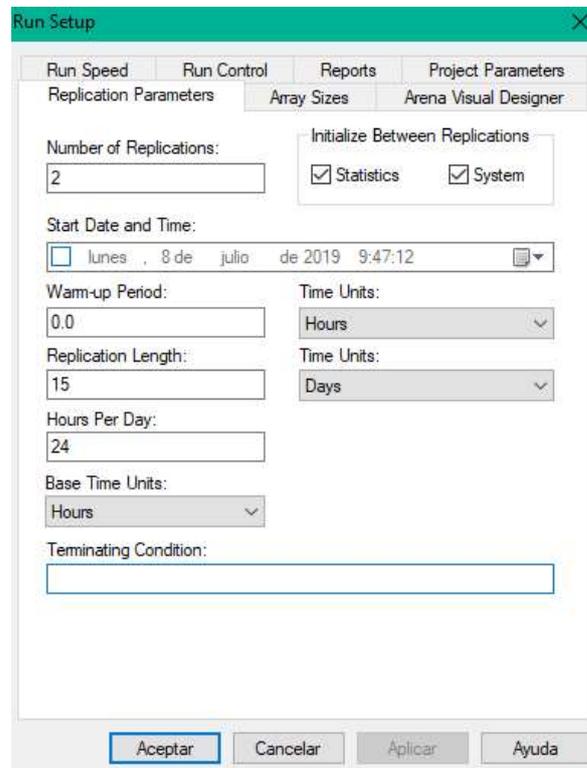


Ilustración 6.6 Zona de salida de contenedores

# 7 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para realizar la simulación, se ha optado por realizar dos réplicas de 15 días cada una. Se han seleccionado las horas como unidad a la hora de mostrar los resultados.



**Ilustración 7.1** Opciones de simulación

## 7.1 Análisis de los resultados de la simulación

En este apartado se va a proceder a estudiar los resultados que ha arrojado la simulación y que se encuentran recogidos en el Anexo A.

En primer lugar, es importante definir que el tiempo de espera es el resultado de la suma del tiempo de espera que sufre la entidad en las colas, el tiempo simulado como desplazamientos por un módulo “*delay*” y los tiempos de transporte modelados mediante módulos “*transfer*”.

Wait Time	Average
Contenedor Barco	19.2071
Contenedor Camion	8.0159
Contenedor Tren	12.1241
Transfer Time	Average
Contenedor Barco	1.7044
Contenedor Camion	0.9969
Contenedor Tren	1.6986

**Ilustración 7.2** Tiempos de espera

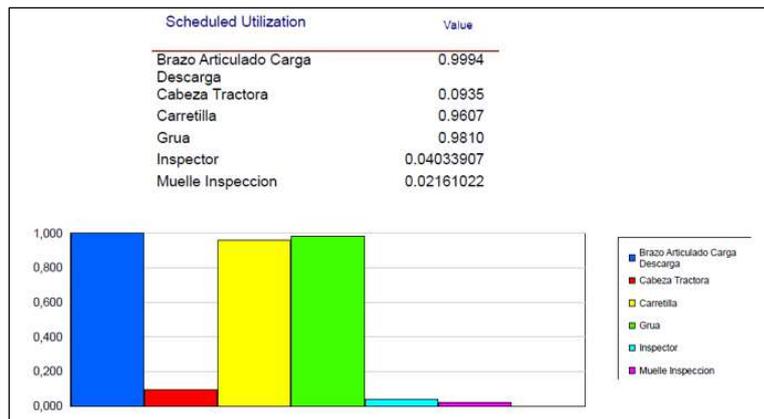
Se puede observar en la Ilustración 7.2 la mercancía que llega en barco es la que más tiempo de espera tiene. Esto es debido a la gran cantidad de mercancía contenerizada que llega en barco, y a que, el tiempo de descarga de un contenedor desde un barco es mayor a descargarlo desde el vagón de un tren, por motivos técnicos.

El menor tiempo de espera corresponde a la mercancía que llega por barco porque únicamente se cambia de el camión que lo trae a la cabeza tractora que lo moverá por las instalaciones portuarias. Esta acción requiere menos tiempo para realizarse que la descarga de un barco o tren.

Waiting Time	Average
Cambio a cabeza tractora.Queue	0.00
Carga en cabeza tractora 2.Queue	0.00
Carga en cabeza tractora.Queue	0.00
Cargar en barco.Queue	10.5251
Cargar en tren.Queue	0.00
Descarga Contenedor Tren.Queue	0.00
Descarga Contenedor.Queue	5.7158
Descarga Mercancia a Granel.Queue	81.2058
PIF.Queue	0.2190
Unifacion Carga Camion.Queue	1.0706

**Ilustración 7.3** Tiempos de espera por proceso

En la Ilustración 7.4 se observa el grado de utilización de cada recurso. Por volumen de mercancía el brazo de carga y descarga de mercancía a granel y las grúas porticos que descargan los contenedores del barco. Como las carretillas se usan en tantos procesos, veáse para cargar los contenedores tanto al salir del barco como del tren, cuando llegan en camión y luego para cargarla en el medio transporte utilizado para la salida de la mercancía.



**Ilustración 7.4** Uso de los recursos

Por último, los módulos “record” colocados a lo largo de la simulación reflejan el número de entidades que salen del sistema. La mercancía a granel y los contenedores en barco suponen el mayor flujo en el Puerto de Algeciras. Por el contrario, en tren sale una cantidad pequeña de contenedores. La mercancía sale en su totalidad mediante camiones. De los contenedores que llegan al Puerto de Algeciras, la mayoría deben pasar la inspección por el PIF.

El “*lead time*”, entendido en este proyecto como el tiempo necesario para que una entidad realice los procesos del modelo, de la mercancía que llega en barcos prácticamente duplica al de la mercancía que llega en camión. Este resultado es acorde con la realidad, ya que, la mayor cantidad de procesos se encuentra en el flujo de mercadería procedente de los barcos. Al tratarse del proceso con mayor “*lead time*” es la zona con más capacidad de mejora.



## 8 CONCLUSIONES

---

Como primera conclusión, se deduce de el modelo que el número actual de grúas no abastece, en su totalidad, la cantidad de contenedores que entran por barco. Un aumento del número de grúas y la construcción de nuevos muelles permitiría aumentar la competitividad de este.

Un punto débil que resulta del modelado es la necesidad de mejorar y aumentar las infraestructuras ferroviarias. Actualmente, supone una cantidad prácticamente testimonial en comparación con la mercancía que llega en barco. Es un punto de mejora que supondría aumentar de manera exponencial la ya frenética actividad del Puerto de Algeciras.

Los equipos de manipulación se encuentran saturados, es decir, no son capaces de abastecer toda la demanda que tienen. Al ser equipos muy versátiles son necesarios en muchos momentos. Esta saturación provoca esperas que se podrían evitar si se aumentase la cantidad de equipos de manipulación disponibles.

Para mejorar el tiempo de proceso de todo el proceso, aunque más en concreto del flujo de la mercancía contenerizada que llega en barco, se podría implementar un sistema para que las cabezas tractoras pudieran arrastrar hasta tres contenedores de una misma vez. De esta forma se reduciría de manera significativa el tiempo de descarga de los buques.

Con visión de futuro, el modelado se podría mejorar diferenciado a que muelle accede cada barco para ver en que muelles se producen más colas. De igual forma, el modelado de la mercancía a granel se podría modelar distinguiendo el tipo de mercancía a granel. Esto serían algunos aspectos que se podrían mejorar de cara a una futura revisión del proyecto.



# Apéndice A

## Anexo

---

En este apartado se adjunta los resultados de la simulación y el modelo de Arena.

### A.0.1 Resultados de la simulación

Category Overview	
Values Across All Replications	
Unnamed Project	
Replications: 2	Time Units: Hours
Key Performance Indicators	
System	Average
Number Out	130

Values Across All Replications

## Unnamed Project

Replications: 2 Time Units: Hours

### Entity

#### Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	2.4114	4,56	2.0524	2.7704	0.3786	14.01
Contenedor Camion	2.2003	0,21	2.1836	2.2170	0.3933	6.87
Contenedor Tren	1.9033	5,96	1.4345	2.3721	0.3901	4.92
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Contenedor Camion	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Contenedor Tren	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	19.2071	13,58	18.1380	20.2762	1.6050	44.04
Contenedor Camion	8.0159	0,61	7.9680	8.0638	0.00	25.50
Contenedor Tren	12.1241	11,01	11.2573	12.9909	1.1918	30.86
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	1.7044	0,24	1.6857	1.7231	0.05948869	5.68
Contenedor Camion	0.9969	0,50	0.9576	1.0363	0.03852656	2.68
Contenedor Tren	1.6986	4,58	1.3381	2.0591	0.4245	3.64
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	0.3829	0,24	0.3639	0.4020	0.00	3.33
Contenedor Camion	0.5480	1,33	0.4436	0.6525	0.05336189	1.77
Contenedor Tren	0.2432	2,21	0.06907131	0.4174	0.00	1.94
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	23.7058	18,62	22.2400	25.1717	3.8882	48.36
Contenedor Camion	11.7611	1,65	11.6315	11.8908	1.5175	31.14
Contenedor Tren	15.9692	14,60	14.8199	17.1185	2.8190	36.01

#### Other

Values Across All Replications

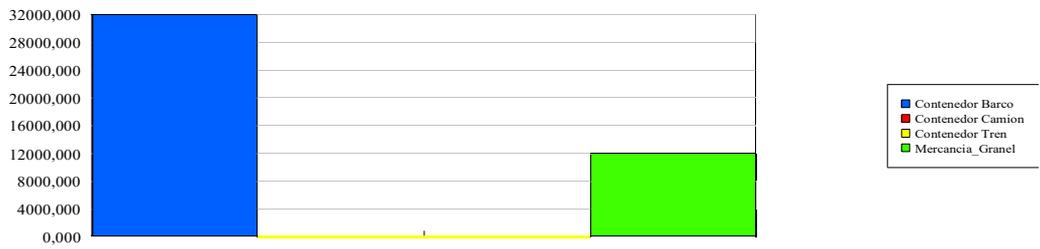
Unnamed Project

Replications: 2 Time Units: Hours

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Contenedor Barco	31000.00	0,00	31000.00	31000.00
Contenedor Camion	185.50	31,77	183.00	188.00
Contenedor Tren	960.00	0,00	960.00	960.00
Mercancia_Granel	12113.00	6.365,71	11612.00	12614.00



Number Out	Average	Half Width	Average	Average
Contenedor Barco	107.00	0,00	107.00	107.00
Contenedor Camion	12.0000	0,00	12.0000	12.0000
Contenedor Tren	11.0000	0,00	11.0000	11.0000
Mercancia_Granel	6683.00	520,95	6642.00	6724.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Contenedor Barco	15400.75	5,96	15400.28	15401.21	0.00	30893.
Contenedor Camion	82.1744	22,44	80.4079	83.9409	0.00	176.
Contenedor Tren	469.49	0,45	469.45	469.52	0.00	949.
Mercancia_Granel	2705.71	2.502,45	2508.76	2902.66	0.00	5890.

Values Across All Replications

## Unnamed Project

Replications: 2 Time Units: Hours

## Queue

## Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cambio a cabeza tractora.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Carga en cabeza tractora 2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Carga en cabeza tractora.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Cargar en barco.Queue	10.5251	23,64	8.6649	12.3853	0.5231	24.48
Cargar en tren.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Descarga Contenedor Tren.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Descarga Contenedor.Queue	5.7158	0,01	5.7150	5.7166	0.00	11.76
Descarga Mercancia a Granel.Queue	81.2058	41,63	77.9294	84.4822	0.00	169.
PIF.Queue	0.2190	2,39	0.03119580	0.4067	0.00	2.28
Unifacion Carga Camion.Queue	1.0706	0,03	1.0682	1.0730	0.00	3.55

## Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Almacenamiento en Tanques.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Cambio a cabeza tractora.Queue	81.3063	16,45	80.0116	82.6010	0.00	175.
Carga en cabeza tractora 2.Queue	24.8930	20,07	23.3137	26.4724	0.00	44.00
Carga en cabeza tractora.Queue	6641.15	396,27	6609.96	6672.34	0.00	17630.
Cargar en barco.Queue	2.4146	5,60	1.9737	2.8555	0.00	53.00
Cargar en tren.Queue	7.4281	0,08	7.4214	7.4347	0.00	8.00
Descarga Contenedor Tren.Queue	420.00	0,00	420.00	420.00	0.00	900.
Descarga Contenedor.Queue	476.75	0,85	476.68	476.81	0.00	1000.
Descarga Mercancia a Granel.Queue	2677.25	2.500,74	2480.43	2874.07	0.00	5858.
PIF.Queue	0.06408107	0,71	0.00840553	0.1198	0.00	11.00
Unifacion Carga Camion.Queue	19.4670	1,64	19.3383	19.5958	0.00	40.00
Unificacion carga barco.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
Unificacion segundo camion.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Values Across All Replications

## Unnamed Project

Replications: 2 Time Units: Hours

## Resource

### Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Brazo Articulado Carga Descarga	0.9994	0,01	0.9988	1.0000	0.00	1.00
Cabeza Tractora	0.0935	0,07	0.08836206	0.0987	0.00	0.72
Carretilla	0.9607	0,01	0.9596	0.9617	0.00	1.00
Grua	0.9810	0,01	0.9803	0.9816	0.00	1.00
Inspector	0.04033907	0,10	0.03244612	0.04823203	0.00	1.00
Muelle Inspeccion	0.02161022	0,05	0.01738185	0.02583859	0.00	0.53
Tanque Almacenamiento	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Brazo Articulado Carga Descarga	8.9944	0,07	8.9888	9.0000	0.00	9.00
Cabeza Tractora	11.5015	8,04	10.8685	12.1346	0.00	89.00
Carretilla	132.57	1,82	132.43	132.71	0.00	138.
Grua	26.4862	0,22	26.4691	26.5032	0.00	27.00
Inspector	0.6051	1,50	0.4867	0.7235	0.00	15.00
Muelle Inspeccion	0.6051	1,50	0.4867	0.7235	0.00	15.00
Tanque Almacenamiento	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Brazo Articulado Carga Descarga	9.0000	0,00	9.0000	9.0000	9.0000	9.00
Cabeza Tractora	123.00	0,00	123.00	123.00	123.00	123.
Carretilla	138.00	0,00	138.00	138.00	138.00	138.
Grua	27.0000	0,00	27.0000	27.0000	27.0000	27.00
Inspector	15.0000	0,00	15.0000	15.0000	15.0000	15.00
Muelle Inspeccion	28.0000	0,00	28.0000	28.0000	28.0000	28.00
Tanque Almacenamiento	22.0000	0,00	22.0000	22.0000	22.0000	22.00

Values Across All Replications

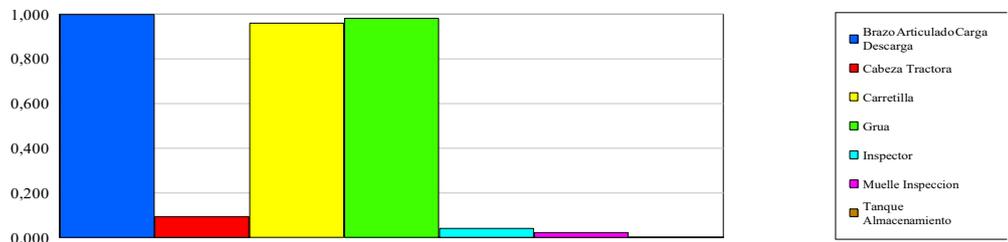
Unnamed Project

Replications: 2 Time Units: Hours

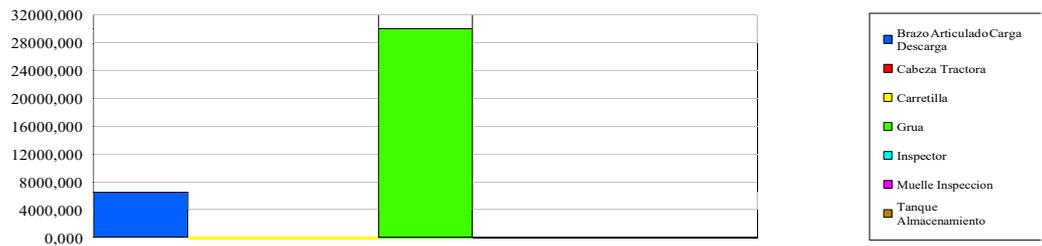
Resource

Usage

Scheduled Utilization			Minimum	Maximum
	Value	Half Width	Average	Average
Brazo Articulado Carga Descarga	0.9994	0,01	0.9988	1.0000
Cabeza Tractora	0.0935	0,07	0.08836206	0.0987
Carretilla	0.9607	0,01	0.9596	0.9617
Grua	0.9810	0,01	0.9803	0.9816
Inspector	0.04033907	0,10	0.03244612	0.04823203
Muelle Inspeccion	0.02161022	0,05	0.01738185	0.02583859
Tanque Almacenamiento	0.00	0,00	0.00	0.00



Total Number Seized			Minimum	Maximum
	Value	Half Width	Average	Average
Brazo Articulado Carga Descarga	6560.50	412,95	6528.00	6593.00
Cabeza Tractora	138.00	0,00	138.00	138.00
Carretilla	209.00	25,41	207.00	211.00
Grua	30109.50	6,35	30109.00	30110.00
Inspector	101.50	57,18	97.0000	106.00
Muelle Inspeccion	101.50	57,18	97.0000	106.00
Tanque Almacenamiento	0.00	0,00	0.00	0.00



Values Across All Replications

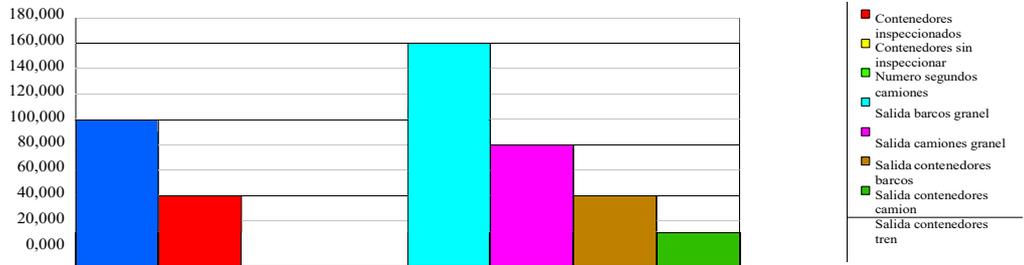
Unnamed Project

Replications: 2 Time Units: Hours

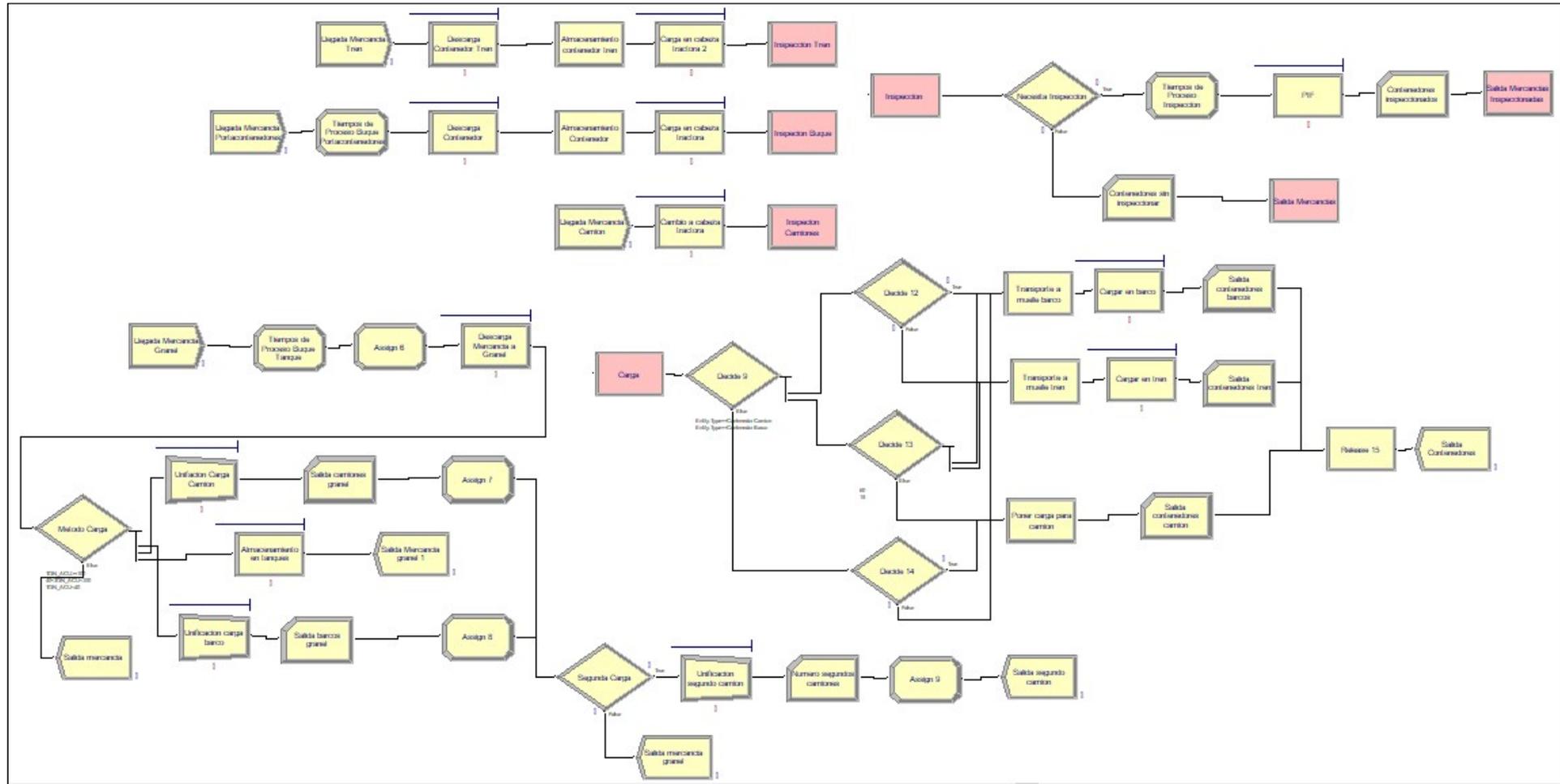
User Specified

Counter

Count	Value	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Contenedores inspeccionados	101.50	57,18	97.0000	106.00
Contenedores sin inspeccionar	36.5000	57,18	32.0000	41.0000
Numero segundos camiones	0.00	0,00	0.00	0.00
Salida barcos granel	0.00	0,00	0.00	0.00
Salida camiones granel	163.00	12,71	162.0000	164.00
Salida contenedores barcos	82.5000	6,35	82.0000	83.0000
Salida contenedores camion	36.5000	31,77	34.0000	39.0000
Salida contenedores tren	11.0000	25,41	9.0000	13.0000



## A.0.2 Modelo Arena



# Índice de Ilustraciones

---

4.1	Esquema del Puerto del Algeciras en 1932	7
4.2	Esquema del Puerto del Algeciras en 1964	8
4.3	Panorámica actual del Puerto de Algeciras	8
4.4	Contenedor normalizado de 20 pies	9
4.5	Buque AVEMAR DOS de la empresa Balearia fondeado en el atraque nº 9 de la Dársena de la Galera del Puerto de Algeciras	11
4.6	Buque Maersk Mckinney Moller atracado en el Puerto de Algeciras	12
4.7	Sede de Capitanía Marítima en Algeciras	13
4.8	Acceso para camiones del Puerto de Algeciras	14
4.9	Grúas pórtico en el muelle Juan Carlos I	15
4.10	Evolución de las grúas pórtico	16
4.11	Grúa RTG en el Puerto de Algeciras	17
4.12	Grúa RMG de la Total Terminal International de Algeciras (TTI Algeciras)	17
4.13	Shuttle Carrier de la TTI Algeciras	18
4.14	Equipo de manipulación frontal tipo <i>Front Lit Truck</i>	18
4.15	Grúa apiladora trabajando sobre un tren en el Puerto de Algeciras	19
4.16	Cabeza tractora descargando un tráiler de un barco de mercancías en el Puerto de Algeciras	19
4.17	Flota de cabezas tractoras del APM Terminlas del Puerto de Algeciras	20
4.18	Contenedor " <i>dry van</i> "	22
4.19	Contenedor refrigerado	22
4.20	Contenedor " <i>open top</i> "	22
4.21	Contenedor " <i>flat rack</i> "	22
4.22	Contenedor " <i>open side</i> "	22
4.23	Contenedor " <i>tank</i> "	22
5.1	Pantalla principal de Arena	26
5.2	Panel de proceos básicos de Arena	26
5.3	Módulo " <i>process</i> "	27
5.4	Módulo Batch	28
5.5	Módulo " <i>record</i> "	29
5.6	Módulo " <i>queue</i> "	30
5.7	Panel de procesos avanzandos de Arena	31
5.8	Panel de transferencia avanzada	31
6.1	Entrada al PIF del Algeciras	33
6.2	Zona de mercancía a granel	34
6.3	Zona de llegadas de mercancías en barco y tren	35
6.4	Zona de llegadas de mercancías en camión	35
6.5	Zona de inspección	35
6.6	Zona de salida de contenedores	36
7.1	Opciones de simulación	37
7.2	Tiempos de espera	37
7.3	Tiempos de espera por proceso	38
7.4	Uso de los recursos	38



# Índice de Figuras

---

4.1	Tipos de contenedores	22
4.2	Medidas de un contenedor	23
6.1	Recursos del modelo	34
6.2	Tabla de incompatibilidades	36



# Índice de Gráficos

---

4.1	Evolución del tráfico total entre 2007 y 2017	9
4.2	Evolución del tráfico de contenedores entre 2007 y 2017	10
4.3	Evolución de la cantidad de mercancía entre los años 2007 y 2017	10



# Bibliografía

---

Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras. (2017). Memoria anual 2017.

Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras. (2019). Puerto de Algeciras. <http://www.apba.es/>

Cardona, A. (2016). Tipos de contenedores y su uso. <https://www.sertrans.es/transporte-de-mercancias/tipos-de-contenedores-y-su-uso/>

Muñoz Lombardo, L. (2014). *Simulación mediante arena para resolver un problema de transportes en una zona portuaria*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Sevilla.

Puertos del Estado. (2017). Estudio de la Cadena de Costes del Tráfico de Graneles Líquidos en Terminales Españolas.

TTI Algeciras. (2019). Total Terminal Intenacional Algeciras. <http://www.ttialgeciras.com/>