



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**TRABAJO FINAL DE CARRERA**

**LOGÍSTICA PORTUARIA: MODELO DE OPTIMIZACIÓN  
DE LOS MOVIMIENTOS DE CONTENEDORES VACÍOS  
APLICADO AL PUERTO DE VALENCIA**

**LICENCIATURA EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

PRESENTADO POR:

Sandra Piccolo de Castro

DIRIGIDO POR:

Rubén Ruiz García

*Valencia, Julio de 2014*



## ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Resumen.....	1
1.2	Introducción .....	1
1.1	Objeto del TFC y justificación de las asignaturas relacionadas .....	2
1.2	Objetivos del TFC.....	4
CAPITULO 2.	SITUACIÓN ACTUAL .....	5
2.1	Introducción .....	5
2.2	Comercio internacional y transporte marítimo .....	5
2.2.1.	Evolución del transporte marítimo .....	5
2.2.2.	La unitización de la carga .....	7
2.2.3.	Transporte Marítimo .....	8
2.2.4.	La Terminal portuaria .....	16
2.2.5.	El Operador Logístico .....	19
2.3	La Logística del Contenedor Vacío .....	19
2.3.1.	Niveles de aplicación de la logística .....	19
2.3.2.	Definiciones y tipologías de contenedores .....	20
2.3.3.	Identificación del contenedor. ....	23
2.3.4.	Gestión logística de los contenedores dentro de la naviera .....	25
2.3.5.	Principales retos en la gestión logística de los contenedores.....	26
2.4	Aplicaciones a la logística del contenedor vacío .....	27
CAPITULO 3.	FUNDACIÓN VALENCIAPORT .....	29
3.1	Introducción .....	29
3.2	Principales líneas de actuación .....	30
3.3	Misión, visión y valores .....	30
3.4	Análisis externo .....	31
3.4.1.	Político - legales.....	31
3.4.2.	Económicos .....	32
3.4.3.	Socio-culturales .....	34
3.4.4.	Tecnológicos.....	35
3.5	Análisis interno (DAFO) .....	35
3.6	Plan Estratégico “Rumbo 2020” .....	39
3.7	Relación de la Fundación ValenciaPort con el TFC.....	41
CAPITULO 4.	METODOLOGÍA.....	42

4.1	Introducción .....	42
4.2	Definición del problema .....	42
4.3	Formulación del Modelo .....	44
4.3.1.	Objetivo del modelo: minimización de costes .....	44
4.3.2.	Ciclo del Contenedor .....	45
4.3.3.	Hipótesis consideradas.....	47
4.3.4.	Parámetros.....	48
4.3.5.	Variables.....	49
4.3.1.	Modelo .....	49
4.3.2.	Restricciones .....	49
4.3.3.	Datos del modelo .....	50
4.4	Análisis de los resultados .....	51
4.4.1.	Resumen del análisis .....	61
4.5	Particularidades del modelo sin antigüedad.....	62
CAPITULO 5. AMPLIACIÓN DEL MODELO Y RESULTADOS .....		63
5.1	Introducción .....	63
5.2	Modificaciones sobre el modelo .....	63
5.2.1.	Parámetros.....	64
5.2.1.	Variables.....	65
5.2.2.	Modelo .....	65
5.2.3.	Restricciones .....	66
5.3	Datos del modelo .....	67
5.4	Análisis de los resultados .....	67
5.4.1.	Resumen del análisis .....	81
5.5	Particularidades del modelo con antigüedad .....	81
CAPITULO 6. CONCLUSIONES .....		83
CAPITULO 7. BIBLIOGRAFÍA .....		84
CAPITULO 8. ANEXOS .....		86
8.1	Anexo 1: Captura de pantalla del programa AMPL IDE.....	86
8.2	Anexo 2. Modelo reducido (sin antigüedad) en lenguaje de modelización AMPL .....	87
8.3	Anexo 3: Datos del modelo reducido (sin antigüedad).....	90
8.4	Anexo 4. Modelo incluyendo antigüedad .....	96
8.5	Anexo 5. Datos del modelo con antigüedad.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

Figura 1:	Densidad Flujos Marítimos .....	8
Figura 2:	The Northwest Passage .....	10
Figura 3:	-Un puerto en la cadena logística .....	16
Figura 4:	Ejemplo de subsistemas de una terminal de contenedores .....	18
Figura 5:	Evolución de los operadores logísticos.....	19
Figura 6:	Identificación y marcas de un contenedor .....	24
Figura 7:	Cadena Logística del contenedor: Intermodalidad marítimo-terrestre .....	25
Figura 8:	Tráfico principal contenedor (millones de TEUs) países.....	27
Figura 9:	Impacto de la crisis en los puertos españoles .....	39
Figura 10:	Modelo de crecimiento de infraestructuras portuarias: Ampliación de los puertos de Valencia.....	41
Figura 11:	Operaciones terrestres de la cadena logística de contenedores FCL Y LCL.....	45
Figura 12:	Patrones de movimiento de contenedores .....	46
Figura 13:	Salida del solver modelo sin antigüedad .....	52
Figura 14:	Salida del solver modelo con antigüedad.....	68
Gráfico 1:	Crecimiento y ciclos economías mundiales .....	11
Gráfico 2:	Mercancías en Contenedores (Toneladas) .....	15
Gráfico 3:	Crecimiento del tráfico de cruceros en el Puerto de Valencia .....	40
Tabla 1:	Principales Puertos del Mundo.....	12
Tabla 2:	Los puertos de la UE y las toneladas manipuladas (millones) .....	13
Tabla 3:	Clasificación y tipología de los contenedores.....	21
Tabla 4:	Clasificación de estudios sobre el contenedor vacío existentes .....	28
Tabla 5:	Resultado variables MTT modelo sin antigüedad .....	52
Tabla 6:	Resultado variables MDD modelo sin antigüedad .....	53

Tabla 7:	Resultado variables MTD modelo sin antigüedad .....	54
Tabla 8:	Resultado variables MDT modelo sin antigüedad .....	55
Tabla 9:	Resultado variables UT modelo sin antigüedad .....	56
Tabla 10:	Resultado variables UD modelo sin antigüedad .....	56
Tabla 11:	Resultado variables LT modelo sin antigüedad .....	58
Tabla 12:	Resultado variables LD modelo sin antigüedad .....	59
Tabla 13:	Resultado variables RST modelo sin antigüedad .....	61
Tabla 14:	Resultado variables RSD modelo sin antigüedad .....	61
Tabla 15:	Costes de almacenamiento sin antigüedad.....	68
Tabla16:	Costes de almacenamiento con antigüedad .....	68
Tabla 17:	Resultado variables MTT modelo con antigüedad .....	69
Tabla 18:	Resultado variables MDD modelo con antigüedad .....	70
Tabla19:	Resultado variables MTD modelo con antigüedad .....	72
Tabla 20:	Resultado variables MDT modelo con antigüedad .....	72
Tabla 21:	Resultado variables UT modelo con antigüedad .....	73
Tabla 22:	Resultado variables UD modelo con antigüedad .....	74
Tabla 23:	Resultado variables LT modelo con antigüedad .....	75
Tabla 24:	Resultado variables LD modelo con antigüedad .....	76
Tabla 25:	Resultado variables RST modelo con antigüedad .....	80
Tabla 26:	Resultado variables RSD modelo con antigüedad .....	80

# **CAPÍTULO 1**

---

## **INTRODUCCIÓN**





## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Resumen**

El transporte marítimo permite trasladar el volumen más grande de mercancías a mayores distancias que cualquier otro medio de transporte. De hecho, los intercambios comerciales internacionales se realizan principalmente por este medio. De ahí la importancia de conocer su funcionamiento y repercusiones sobre el comercio internacional.

Dentro de la cadena de suministro del transporte marítimo se encuentra el uso de los contenedores, que constituye la forma más común para el movimiento de la mercancía. Puesto que la mercancía viaja dentro del contenedor, cuando éste permanece vacío está generando gastos. Por ello la logística del contenedor vacío comprende la capacidad de llevar a cabo las operaciones necesarias para el transporte de mercancías minimizando los gastos derivados del contenedor y maximizando su uso.

El objetivo del presente Trabajo Final de Carrera es el de presentar el transporte marítimo dentro del comercio internacional, y analizar el modelo de optimización de movimientos de contenedores vacíos en los que la buena logística cobra importancia.

### **1.2 Introducción**

El transporte marítimo es el medio de transporte indispensable para el desarrollo del comercio internacional, siendo la vía más utilizada en el comercio mundial. De este modo, el transporte marítimo es el reflejo de la situación en la que se encuentra la economía en general.

Este ha ido evolucionando de acuerdo con las necesidades del comercio mundial y de la capacidad técnica para construir barcos más grandes y eficientes instalaciones portuarias adecuadas para la manipulación de mercancías.

La logística del contenedor vacío es uno de los costes más relevantes para las compañías navieras debido a que éstos pasan gran parte de su vida útil sin transportar ninguna mercancía. Esto es debido a los desequilibrios entre oferta y demanda en el comercio internacional. Así pues su buena gestión es de suma importancia.

Por ello, el siguiente Trabajo versará sobre la logística del contenedor vacío en el comercio internacional.

Respecto a la estructura del Trabajo, en primer lugar se profundizará en el origen y la situación actual del comercio exterior, en particular el transporte marítimo, y en el papel de los principales actores en la cadena de suministro: la terminal portuaria y los operadores logísticos. De esta forma se describirán los aspectos teóricos en los que se basará la argumentación del modelo propuesto.

Ulteriormente, y puesto que este trabajo se ha llevado a cabo en coordinación con la Autoridad Portuaria de Valencia (APV), se describirá la sociedad y se expondrá un análisis interno y externo de la misma así como sus principales líneas de actuación y proyectos puestos en marcha.

La Autoridad Portuaria de Valencia, conocida comercialmente como ValenciaPort, gestiona los tres puertos estatales de Valencia, Sagunto y Gandía. El Puerto de Valencia es el puerto más importante de España desde un punto de vista comercial y se considera puerto *hub* del Mediterráneo Occidental.

El Capítulo de la metodología del trabajo consistirá en definir el problema de la logística del contenedor vacío, presentar el modelo y analizar los resultados obtenidos. Cabe comentar que el modelo está publicado en un artículo de la conocida revista “*Computers & Industrial Engineering*”, especializada en el uso de la computación en la investigación operativa, con aplicaciones a ingeniería industrial, tanto en la academia, la educación y la práctica.

Posteriormente se presentará una ampliación significativa del modelo, que es aportación original de este Trabajo de Fin de Carrera, para acercarlo más a la realidad del día a día del operador logístico. De nuevo, se definirá el modelo ampliado y se analizarán los resultados.

En ambos casos se comentarán las principales dificultades encontradas en el estudio del modelo y se introducirá el lenguaje de modelización “*A Modeling Language for Mathematical Programming*” (AMPL) utilizado para escribir y resolver los modelos. En particular, se describirán los problemas encontrados a la hora de adaptar los datos reales al modelo considerado. Esta parte del proyecto se considera de especial relevancia, dado lo escasamente estudiados y comentados que están este tipo de problemas en la literatura de la investigación operativa. Poner en práctica un modelo complejo con muchos datos reales dista de ser una operación trivial.

Finalmente, la conclusión recogerá las experiencias con el modelo y la utilidad del mismo para servir en la toma de decisiones de los operadores logísticos.

## **1.1 Objeto del TFC y justificación de las asignaturas relacionadas**

El objeto del siguiente Trabajo de Fin de Carrera es el de estudiar el modelo de optimización de movimientos de contenedores vacíos propuesto por un grupo de investigación. Este grupo está compuesto por Salvador Furió, Director de Logística en la Fundación ValenciaPort, Carlos Andrés, de la Escuela Superior de Ingeniería Industrial de la UPV, Belarmino Adenso-Díaz, de la Escuela Superior de Ingeniería de Gijón y Sebastián Lozano de la Escuela Superior de Ingeniería de Sevilla. Este modelo se publicó recientemente en una revista de alto impacto del área de Gestión de Operaciones.

El modelo sirve como apoyo para la toma de decisiones de los operadores logísticos. Al tratarse de un modelo de minimización de costes que contempla los gastos de almacenamiento y transporte de contenedores vacíos, su objetivo es que su optimización resulte en un ahorro en los significativos gastos que derivan de la gestión de los contenedores.

Puesto que en el Capítulo 2 se expone el marco teórico del trabajo, es de suma importancia aplicar los conocimientos sobre el equilibrio competitivo en el comercio internacional que se adquieren en Microeconomía, así como tener una visión general de los factores Macroeconómicos.

También será importante tener conocimiento sobre los sectores que influyen en el comercio exterior, adquiridos en Economía Española y Mundial. En Dirección del Comercio Exterior se estudia las operaciones comerciales, y la operativa en una empresa internacional y se profundiza en los mercados internacionales y conceptos del comercio internacional, muy útiles para el trabajo.

En cuanto al Capítulo 3, se realizará una descripción de la Fundación de ValenciaPort, junto con la realización de un análisis externo e interno de la empresa. También se hablará de su estrategia comercial. Para esto se utilizarán herramientas como el análisis DAFO y el análisis PEST, adquiridos en profundidad en asignaturas como Marketing en la Empresa de Servicios y Dirección Comercial. Se verá la importancia de la calidad como factor estratégico y de desarrollo en el sector logístico, lo cual se estudia en Gestión de Calidad.

Por último, se presentará el Proyecto Estratégico “Rumbo 2020” que desarrolla la APV, por lo que serán importantes las asignaturas de Dirección de Proyectos Empresariales y Dirección Estratégica y Política de la Empresa para comprender el entramado del diseño, desarrollo y análisis de un proyecto.

En el Capítulo 4 se presenta el modelo estudiado, para el que hay que comprender la parte del aprovisionamiento y distribución, lo cual se estudia en Dirección de Producción y Logística.

El trabajo en sí versa sobre un modelo de minimización de costes, los cuales se estudian en la asignatura de Investigación Operativa. En esta materia aprendemos la formulación de modelos y técnicas de resolución de programación lineal y entera, que es la parte principal de los Capítulos 4 y 5. También son de ayuda conceptos vistos en Econometría en la parte de la formulación del modelo y análisis de resultados.

La asignatura de Introducción a la Informática es imprescindible para saber utilizar las principales herramientas ofimáticas que se manejan en el desarrollo del trabajo y en especial con el tratamiento de los datos del problema.

El Capítulo 5 es una continuación al Capítulo 4, por lo que la justificación del punto anterior puede aplicarse a este.

Para sacar conclusiones a partir de los resultados obtenidos serán necesarios los conocimientos teóricos que se habrán ido desarrollando durante todo el proyecto, como son los que desarrollan las asignaturas de Dirección del Comercio Exterior, Economía Española y Mundial, entre otras.

Se comentarán aspectos del modelo para los que servirán las asignaturas de Investigación Operativa y Dirección de Producción y Logística.

La asignatura de Economía de la Información cobrará especial relevancia a la hora de entender el entramado de la información dentro de la empresa y de la importancia de su gestión para la correcta toma de decisiones y el análisis.

## 1.2 Objetivos del TFC

El objetivo principal de este TFC es el de analizar el modelo de optimización de movimientos de contenedores vacíos a la par de realizar un exhaustivo estudio sobre el comercio internacional marítimo y la logística del contenedor vacío.

De este modo, se pueden enumeran los siguientes objetivos:

1. Establecer una visión general del comercio internacional y el transporte marítimo.
2. Comprender la logística del contenedor vacío además de los principales agentes que forman parte de la cadena logística.
3. Presentar la Fundación Valenciaport, sus principales líneas de actuación, y realizar un análisis interno y externo de la Autoridad Portuaria de Valencia.
4. Analizar en detalle el modelo de optimización de movimientos de contenedores vacíos y proponer su ampliación incorporando la antigüedad en el mismo.

## **CAPÍTULO 2**

---

### **SITUACIÓN ACTUAL**



## **CAPITULO 2. SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1 Introducción**

Para llevar a cabo el objeto del proyecto, debemos empezar por estudiar en profundidad los conceptos teóricos que se aplicarán a lo largo del trabajo, todos relacionados con el Comercio Internacional y el transporte marítimo.

Comenzamos este Capítulo por dar una visión general sobre la evolución del transporte marítimo, haciendo referencia a la parte de su evolución histórica y nombrando organizaciones e instituciones que son importantes en la actualidad y que están relacionadas con el comercio exterior.

A continuación veremos el concepto de la unitización de la carga, lo que probablemente constituye el episodio más importante en la evolución del transporte marítimo y que más consecuencias positivas trajo a su desarrollo.

En el apartado de Transporte marítimo se explican los canales más importantes y más transitados por este medio de transporte. Después se verán datos macroeconómicos del transporte marítimo a nivel mundial, europeo y finalmente en España.

Por su relevancia con el modelo que se presenta y estudia en el CAPITULO 1. Metodología, se termina el capítulo presente explicando el funcionamiento de una Terminal Portuaria, con su división por subsistemas, y finalmente se describe la figura del operador logístico.

### **2.2 Comercio internacional y transporte marítimo**

#### **2.2.1. Evolución del transporte marítimo**

El objetivo de este trabajo es el de comprender la logística del contenedor vacío, y para ello resulta interesante conocer la perspectiva histórica de la evolución del comercio mundial en relación al transporte marítimo. Aguilar, 1998, hace un breve apunte histórico sobre el comercio internacional. Poner otra referencia de alguien que lo haya hecho.

El transporte marítimo evoluciona a lo largo de los siglos en línea con el desarrollo de factores de internacionalización, la globalización y el intercambio entre países.

En la época de la Ilustración y la Revolución, enmarcados en el siglo XVII, se avanza hacia la liberalización comercial, preconizada por los holandeses (*"mare liberum"*).

A la llegada de la Revolución Industrial, en el siglo XIX, y una vez inventada la máquina de vapor en XVII, se impulsan las mejoras en la ingeniería naval desarrollándose el primer barco de vapor comercial, que navegó por primera vez en las aguas del río Hudson en 1807.

Poco a poco se establecen y amplían comunicaciones ferroviarias en el interior de los países que multiplican las posibilidades de intercambios comerciales.

Como consecuencia del motor a vapor, los tiempos de viaje son más predecibles y aparecen las primeras líneas regulares de navegación tal y como se las conoce en la actualidad.

El aumento del volumen de mercancías a transportar favoreció la especialización de los buques y el incremento de tamaño de los mismos para conseguir economías de escala. Así, aparecen buques especializados en los tres grupos clásicos de mercancías: granel líquido, granel sólido y mercancía general.

En una primera etapa del transporte marítimo, la mercancía era propiedad del comerciante-armador. En segunda etapa, el armador estaba al servicio de productores o comerciales, pero existía una reserva por pabellón: cada país imponía medidas proteccionistas para su flota y su comercio. Finalmente desaparecen los monopolios y el armador se convierte en un transportista internacional sujeto a normas de libre mercado quedando separadas las funciones de comerciante y naviero.

En el siglo XX comienzan a aparecer importantes organizaciones que ayudarán a la evolución del comercio internacional y marítimo.

1905. BIMCO: Organización marítima privada más grande del mundo, que representa a armadores de más de 120 países. Su objetivo es autorregular el sector y proteger a sus miembros con asesoramiento e información de calidad, facilitar la armonización y estandarización de prácticas marítimas y comerciales y los contratos vinculados a las mismas.

1919. Cámara de Comercio Internacional (CCI), con el ánimo no sólo de doctrinar especialmente en la compra-venta internacional, sino también arbitrar.

1919. Organización Internacional del Trabajo (OIT). Se encarga de la elaboración y supervisión de las Normas Internacionales del Trabajo, entre las cuales se encuentra las que afectan a la gente de mar.

1945: Organización de las Naciones Unidas (ONU): que hizo una propuesta de regulación del tráfico marítimo mediante las reglas de Hamburgo de 1978, que estipulan que la responsabilidad del naviero va desde el puesto de origen hasta el puerto de destino.

1945. Fondo Monetario Internacional (FMI) para regular las relaciones monetarias.

1947: Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT) impulsa la reducción de aranceles de los Estados miembros, en respuesta al proteccionismo tras la Segunda Guerra Mundial.

1958. Organización Marítima Internacional (OMI), como agencia especializada de la ONU, que promueve la cooperación entre Estados y la industria marítima en temas como la eficiencia de navegación, prevención y control de la contaminación marítima y seguridad marítima.

1995: Organización Mundial del Comercio (OMC) con estructura funcional, más allá del carácter de acuerdo temporal del GATT, para ocuparse de las normas que rigen el comercio entre los países.



A partir de la segunda mitad del siglo XX los cambios se suceden con rapidez, pero aumenta y mejora la gobernanza. Los gobiernos y los organismos supranacionales regulan cada vez más el transporte multimodal en respuesta a la demanda de la industria, el comercio y la sociedad.

### 2.2.2. La unitización de la carga

Uno de los aspectos que más incidencia ha tenido en el desarrollo del transporte marítimo es lo que se denomina la unitización de la carga, proceso cuyo propósito es el de uniformar la carga de las mercancías a bordo de los vehículos de transporte en cualquier medio, ya sea marítimo o terrestre.

Según el Diccionario de Logística (David Soler García, 2008), se denomina unitización, al proceso de agrupamiento de diversas unidades de carga fraccionada o ítems individuales en una unidad única (palés o contenedores, por ejemplo), compacta, reforzada y provista de elementos (patines, listones, asas, etc.) que faciliten su manejo, traslado y almacenamiento de forma homogénea, sistematizada y segura. (A modo de curiosidad, la representación más antigua de unitización de carga es considerada por diversos autores el transporte en ánforas griegas, en los años 230 A.C.)

A finales de siglo XX se encontraron restos de un buque del siglo II que naufragó en el mar de Liguria, el "Félix Pocata". En él se hallaron unos "dolium" vacíos (receptáculos de madera o barro). Estos eran de porciones parecidas a los contenedores actuales.

A partir del siglo XX se experimenta con distintos tipos de cajas estandarizadas, existiendo siempre una complicación común: la manipulación en el transporte intermodal. Por ello se van creando instituciones relevantes en la investigación para el desarrollo de la unitización de la carga. Pronto otros factores serán relevantes para el desarrollo de un modo común de transporte: el tiempo de manipulación y la seguridad de la carga.

Durante la Segunda Guerra Mundial, el ejército de los Estados Unidos utilizaba un sistema de cajas estandarizadas para el transporte de provisiones y armamento. También pusieron en práctica la idea de transportar camiones en buques. No obstante, fue Malcom McLean quien finalmente sentó las bases del contenedor actual al concebir un sistema que permitía el transporte intermodal sin ruptura de carga entre expedidor y destinatario.

En 1955 en EEUU, la compañía *Mc Lean Trucking Co.* de Carolina del Norte, dedicada al transporte regular por carretera entre New York y Houston, adquirió la naviera *Pan-Atlantic Steamship Co.* para dar solución a los problemas burocráticos del transporte de carga a lo largo del país. Realizó una inversión en petroleros, a los que instaló puntos de anclaje para poder depositar sobre la cubierta las primeras cajas. El 26 de Abril de 1956 zarpa el buque "IDEAL X" naciendo así el concepto de Contenerización y transporte multimodal puerta a puerta.

Pronto Europa empieza a exigir unidades de patrones definidos y la ISO recomienda módulos uniformes de 10, 20, 30 y 40, con 8 pies de altura y 8 pies de ancho.

Para 1965 el uso del contenedor comenzaba a generalizarse, siendo para entonces el parque europeo de aproximadamente 350.000 unidades.

Como ventajas del transporte de mercancías en contenedor pueden citarse las siguientes:

1. Facilita el transporte puerta a puerta.
2. Reduce el trámite documental, así como los costes de almacenamiento e inventario.
3. No precisa manipulaciones intermedias de la mercancía, lo que se traduce en: menos deterioros, menor riesgo de robos, menos gastos de embalaje.
4. Permite obtener primas de seguros más favorables.
5. Consigue una mayor productividad laboral ya que se resume en importantes ahorros de tiempo en la carga y descarga.
6. Requiere menos mano de obra, lo que reduce considerablemente los costes.
7. Reduce al mínimo la necesidad de formación técnica gracias a la uniformidad de las tareas.
8. Optimizan el espacio en el modo de transporte y en las terminales ya que pueden apilarse.
9. Son más seguros por su resistencia ante contratiempos.

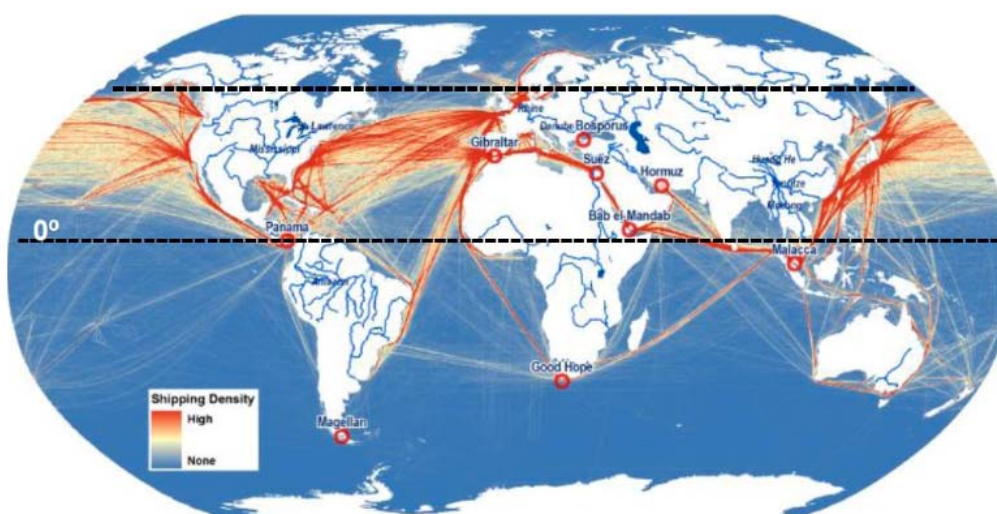
### 2.2.3. Transporte Marítimo

El transporte marítimo es el medio de transporte indispensable para el desarrollo del comercio internacional, siendo la vía utilizada para transportar aproximadamente el 90% del comercio mundial. De este modo, el transporte marítimo muestra la situación en la que se encuentra la economía en general. Su aumento o disminución vendrá originado por la evolución de la economía y del comercio mundial de mercancías.

Los canales son un medio creado para facilitar el transporte marítimo. La apertura de esta tipo de vías fluviales se creó para una reducción considerable del tiempo de viaje en el tráfico de mercancías por vía marítima a escala mundial.

A continuación se muestra un mapa mundial que muestra las densidades de flujos marítimos:

**Figura 1: Densidad Flujos Marítimos**



Fuente: Documento Web: PÉREZ VENTURA, JUAN (2012) "El transporte marítimo"

Como se puede observar en el mapa, la densidad de flujos marítimos es mucho mayor en el hemisferio norte, gracias a la existencia de dos pasos estratégicos como el Canal de Suez, y el Canal de Panamá que evitan a los buques tener que rodear los continentes sudamericano y africano.

En 1869 se inauguró el Canal de Suez, que sirvió para abrir una nueva ruta marítima, mucho más rápida, que conectaba Europa con los nuevos socios comerciales asiáticos. Esto supuso la desaparición de la vela de la navegación comercial por dos motivos: en esa zona hay muy poco viento y además los buques atraviesan zonas con fácil aprovisionamiento de carbón.

Más adelante, en 1904, se inaugura el Canal de Panamá, que eliminó la necesidad de atravesar el Estrecho de Magallanes, al sur de Sudamérica, y de rodear todo el continente sudamericano para llegar desde una costa de América a otra, lo cual supuso una importante reducción de la distancia

La entrada en servicio de la ampliación del canal de Panamá, cuya inauguración está prevista para 2015, permitirá el paso de buques post-Panamá (buques de mayor tamaño), lo que contribuirá a la reducción de costes económicos y medioambientales del transporte marítimo y al rediseño de las cadenas de suministro globales, más competitivas y diversificadas al acercar los centros de producción a los principales mercados.

Actualmente, debido al deshielo que sufre el Ártico se está permitiendo sugerir la idea de una nueva ruta marítima que conecte Europa con el Este de Asia a través de las aguas del Océano Ártico, recorriendo toda la costa norte de Rusia. Algunos estudios indican que hacia el año 2020 el Océano Ártico podría ser navegado, tanto por el norte de Canadá como por el norte de Rusia.

Según un artículo publicado en la Revista científica "*Science American*" (Casselmann, Anne, 2008), este *Pasaje del Noroeste* permitiría iniciar un nuevo orden en el comercio marítimo a escala global, ya que las tradicionales rutas como el Océano Atlántico o el Océano Pacífico se verían superadas por la rentabilidad del Pasaje del Noroeste.

La ruta desde Rotterdam, el puerto más importante de Europa, hasta Shanghai, el puerto más importante de China, recorre actualmente unas 13.000 millas (algo más de 20.000 kilómetros). Si el Pasaje del Noroeste estuviera abierto, esta distancia se reduciría a 8.450 millas (13.600 kilómetros), lo cual supondría una reducción de más de 6.000 kms en la distancia a recorrer, y por lo tanto, una considerable reducción en los costes de transporte. En definitiva: menos tiempo, menos combustible, más rapidez a la hora de realizar encargos, mayor número de encargos y muchas ventajas más.

Además, la ruta del noroeste evitaría atravesar aguas peligrosas como las que rodean la costa de Somalia o las aguas del Mar de la China Meridional, que son zonas donde la piratería amenaza a la seguridad del transporte marítimo.

Figura 2: The Northwest Passage

**A Shortcut Across The Top of the World**

The Northeast Passage, across the Arctic Ocean, provides a shorter alternative for cargo vessels travelling between Europe and Asia than using the Suez Canal. It is shorter than the Panama Canal route for some voyages between the North American west coast and Europe.

LENGTH OF A VOYAGE TO ROTTERDAM FROM:

- YOKOHAMA, JAPAN  
12,894 miles via Suez Canal,  
8,452 miles via Northeast Passage
- SHANGHAI, CHINA  
12,107 miles via Suez Canal,  
9,297 miles via Northeast Passage
- VANCOUVER, CANADA  
10,262 miles via Panama Canal,  
8,038 miles via Northeast Passage



Source: The Russian Ministry of Transport

THE NEW YORK TIMES

Fuente: [www.dforceblog.com](http://www.dforceblog.com) "Un Blog Verde"

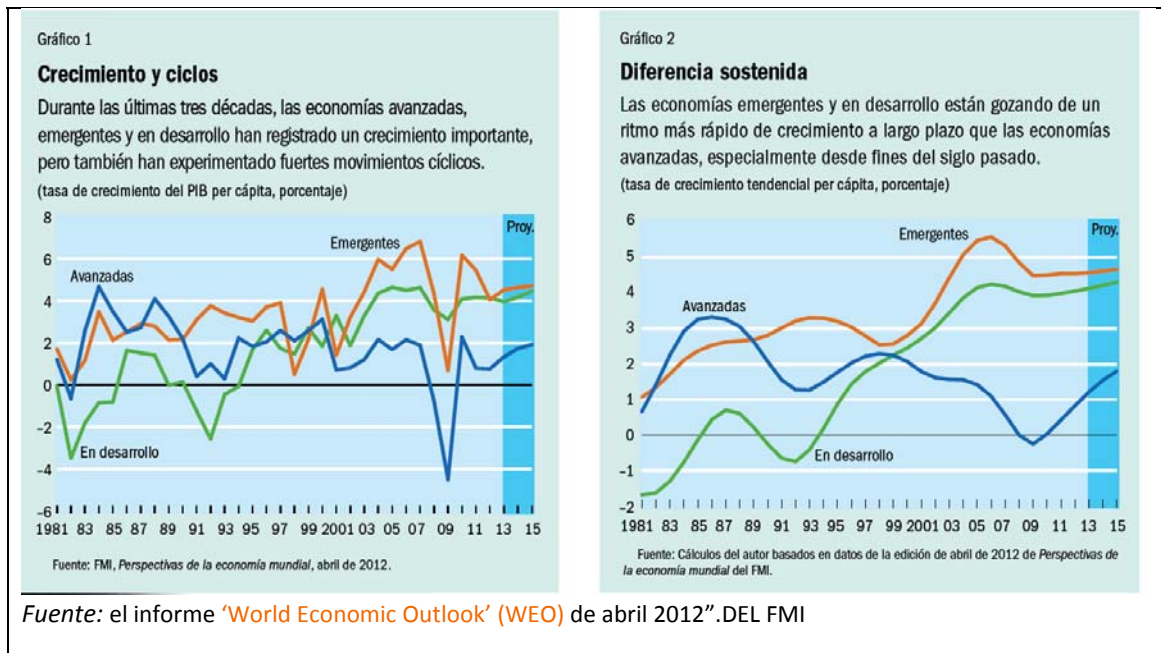
**2.2.3.1 Datos Macroeconómicos**

Como se ha dicho anteriormente, la evolución del comercio internacional sigue la economía mundial, así pues resulta interesante conocer las previsiones económicas a nivel mundial, europeo y español.

Como indicador de la evolución de la economía tenemos el llamado crecimiento económico. Kutznets (1996) afirma que el crecimiento económico "es un incremento sostenido del producto per cápita o por trabajador", o en otras palabras es el aumento del valor de los bienes y servicios producidos por una economía durante un periodo de tiempo.

El ICEX, la entidad pública empresarial dependiente de la Secretaría de Estado de Comercio del Ministerio de Economía y Competitividad, publica en su página web que según el Fondo Monetario Internacional la economía global crecerá 3.7% este año y se espera un crecimiento de 3.9% en 2015.

Gráfico 1: Crecimiento y ciclos economías mundiales



Fuente: Documento Web del ICEX (2014) "FMI. 'Perspectivas de la Economía Mundial" (2014)

Olivier Blanchard, Consejero económico del FMI, en la presentación del informe "Perspectivas de la economía mundial: transiciones y tensiones" Octubre 2013, indica que "La economía mundial ha comenzado nuevamente una transición. Las economías avanzadas se están fortaleciendo gradualmente. Al mismo tiempo, el crecimiento en las economías de mercados emergentes se ha desacelerado."

Así pues, la positiva evolución prevista estará marcada por tres ritmos de crecimiento diferenciados: por un lado los mercados emergentes con altos porcentajes de crecimiento, en segundo nivel EEUU y en última instancia Europa y Japón, con porcentajes más estables.

Se entienden por mercados emergentes no sólo los acuñados como BRIC (Brasil, Rusia, India y China), sino también México, Corea, Indonesia y Turquía. Se estima que estos países tengan un crecimiento en torno al 5,1%, tres veces más que los países desarrollados, por lo que constituyen el principal objetivo comercial para el resto del mundo, sobre todo en lo que respecta al comercio internacional.

Para la eurozona, que está pasando de la recesión a la recuperación, el FMI prevé que el crecimiento aumentará al 1% en 2014 y 1,4% en 2015, pero la recuperación será desigual.

Con un crecimiento medio del 3,5% también destacan los países del Norte de África como Marruecos, Argelia o Libia, cuyo desarrollo económico los ha situado como destino prioritario de las exportaciones del sur de Europa, especialmente de España.

### 2.2.3.2 El transporte marítimo a nivel mundial

El Informe sobre el Transporte Marítimo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), enumera los 20 principales puertos del mundo por volumen de contenedores o más activos del mundo.

**Tabla 1: Principales Puertos del Mundo**

Clasificación	Nombre del Puerto
1.	Singapur
2.	Shangai (China)
3.	Hong Kong
4.	Shenzhen (China)
5.	Busan (Corea del Sur)
6.	Los Ángeles/Long Beach
7.	Dubai
8.	Quingdao (China)
9.	Guangzhou (China)
10.	Ningbo (China)
11.	Rotterdam (Países Bajos)
12.	Tianjin (China)
13.	Kaohsiung (Taiwan)
14.	Antwerp (Amberes) (Bélgica)
15.	Hamburgo (Alemania)
16.	Port Kalang (Malasia)
17.	Tanjung Pelepas (Malasia)
18.	Laem Chabang (Tailandia)
19.	Bremerhaven (Alemania)
20.	Xiamen (China)

*Fuente: Elaboración propia*

La pérdida de poder de las potencias tradicionales occidentales frente a las nuevas economías asiáticas y principalmente China se evidencia, como en otros muchos aspectos, en el transporte marítimo.

El primer puerto occidental que encontramos en el ranking es el Puerto de Los Ángeles/Long Beach, que ocupa el sexto puesto entre los puertos más importantes del mundo. El puerto más grande de Europa, el de Rotterdam, aparece en el undécimo puesto.

Actualmente 14 de los 20 principales puertos por volumen de contenedores manejados se encuentran en el Este de Asia. Ocho de ellos en China. Lo interesante es que ninguno de ellos estaba en el TOP 10 en 1995. La entrada en el comercio mundial y la importancia en el tablero internacional de los países asiáticos es un fenómeno reciente y que se ha dado a gran velocidad. Este fenómeno se ha llevado por delante a los países occidentales que, durante siglos, habían liderado el comercio y la economía. Los principales puertos europeos (Rotterdam, Hamburgo) y los puertos de Norteamérica han bajado muchas posiciones en el ranking en los últimos 15 años.

Entre los resultados más destacados en el 2013, se señala el crecimiento del comercio marítimo internacional que durante 2012 registró un aumento de su volumen del 4,3%, hasta alcanzar por primera vez en su historia las 9.200 millones de toneladas y se estima que el tráfico portuario mundial en contenedores aumentó un 3,8%, hasta alcanzar los 601,8 millones de unidades.

### 2.2.3.3 El transporte marítimo a nivel europeo

En los 70.000 kilómetros de las costas de la Unión Europea se localizan más de 1.200 puertos comerciales. Europa es una de las regiones con mayor densidad portuaria del mundo.

A continuación se presentan los 20 principales puertos de la Unión Europea por número de toneladas manipuladas (2011) y la tabla correspondiente.

**Tabla 2: Los puertos de la UE y las toneladas manipuladas (millones)**

<b>Puertos de la UE</b>	<b>Toneladas manipuladas, en millones de toneladas (2011)</b>
<b>1 Rotterdam</b>	370,3
<b>2 Antwerpen</b>	168,5
<b>3 Hamburg</b>	114,4
<b>4 Marseille</b>	84,5
<b>5 Algeciras</b>	68,8
<b>6 Le Havre</b>	63,4
<b>7 Amsterdam</b>	59,6
<b>8 Immingham</b>	57,2
<b>9 Bremerhaven</b>	55,9
<b>10 Valencia</b>	54,2
<b>11 London</b>	48,8
<b>12 Milford Haven</b>	48,7
<b>13 Genova</b>	42,4
<b>14 Trieste</b>	41,8
<b>15 Göteborg</b>	41,3
<b>16 Taranto</b>	41,2
<b>17 Dunkerque</b>	40,8
<b>18 Southampton</b>	37,9
<b>19 Tallinn</b>	36,0
<b>20 Tees &amp; Hartlepool</b>	35,2

*Fuente: Elaboración propia*

La Comisión Europea publica en su informe “Los puertos marítimos de Europa en el horizonte de 2030: retos futuros” que los puertos europeos son las puertas del continente europeo. El 74% de las mercancías extracomunitarias se envía a través de los puertos. Son también fundamentales para el comercio intraeuropeo: anualmente transitan por los puertos el 37% del tráfico intracomunitario de mercancías y 385 millones de pasajeros.

Afirma que las actividades portuarias contribuyen directamente al empleo, a la inversión interna y al crecimiento del PIB. Se prevé además que el tráfico de mercancías que transitan

por los puertos de la UE aumente en un 50% de aquí a 2030. Este aumento es una oportunidad para el crecimiento económico y la creación de empleo: se estima que de aquí a 2030 se podrán crear entre 110.000 y 165.000 puesto de trabajo en los puertos.

Es indispensable que los puertos europeos se adapten para hacer frente al creciente tráfico, para ello se deberá establecer el marco regulador adecuado para atraer a inversores y, a continuación, disponer del tiempo necesario para los trabajos de planificación y construcción.

En caso contrario el crecimiento económico se verá amenazado por el riesgo de congestión y por costes externos muy elevados, en particular en las ciudades y regiones portuarias y sus conexiones con sus amplias zonas del interior, sobre todo teniendo en cuenta que no todos los puertos de la UE tienen el mismo nivel de eficiencia.

En general, las mayores tasas de crecimiento del tráfico marítimo en los puertos europeos se aprecian en las dársenas del sur, mientras que los principales puertos del norte (Rotterdam, Amberes y Hamburgo) tienden al mantenimiento de sus tráficos.

#### **2.2.3.4 El transporte marítimo a nivel nacional**

Desde 2010, los puertos españoles han logrado superar los efectos de la crisis económica de los años 2008-2009, gracias al aumento de las exportaciones y a la recuperación del tránsito de mercancías, acercándose en 2012 a los tráficos de 2007. Para este año, Puertos del Estado prevé un aumento del 3% de sus tráficos, alcanzando la cifra histórica de 485 millones de toneladas. Para los próximos años el organismo estima un progresivo y continuado aumento de sus diferentes tráficos hasta alcanzar en 2016 más de 550 millones de toneladas.

Aunque los resultados económicos de Puertos del Estado han sido crecientes en beneficios en 2013, existe una preocupación por el descenso del tráfico (-3,4% medido en toneladas) y especialmente por la caída de la carga en tránsito (la mercancía llega en un barco y parte en otro sin salir de los muelles). En el año 2013 tocaron puerto 350.000 contenedores en tránsito menos que en 2012, con caídas del 36% en Barcelona, del 24% en Las Palmas o del 5% en Valencia, entre los grandes.

Dentro del notable y estable crecimiento de los puertos europeos, cinco puertos tienen crecimientos superiores a los dos dígitos en los últimos cuatro años, dos de los cuales, son españoles.

El Puerto de Huelva se sitúa como el segundo puerto europeo que más ha crecido durante el periodo 2008-2012 con un aumento de casi un 40% de sus tráficos basado fundamentalmente en la puesta en marcha de la ampliación de la Refinería la Rábida. El otro puerto español con una evolución sobresaliente es el Puerto Bahía de Algeciras, obteniendo la mayor tasa de crecimiento del periodo 2011-2012 y un crecimiento del 18,6% en los últimos cuatro años gracias al buen comportamiento del tránsito de contenedores.

En la actualidad, los puertos españoles se enfrentan al reto de continuar mejorando su competitividad y posicionamiento a nivel mundial para convertirse en los futuros *hubs* interoceánicos del Sur de Europa.



España tiene riesgo de perder cuota de mercado frente a las terminales portuarias de Marruecos o de Portugal. El tráfico en tránsito está altamente bonificado y un descenso no impactaría significativamente en la facturación de Puertos del Estado. Sin embargo, está en riesgo la conectividad de los puertos españoles.

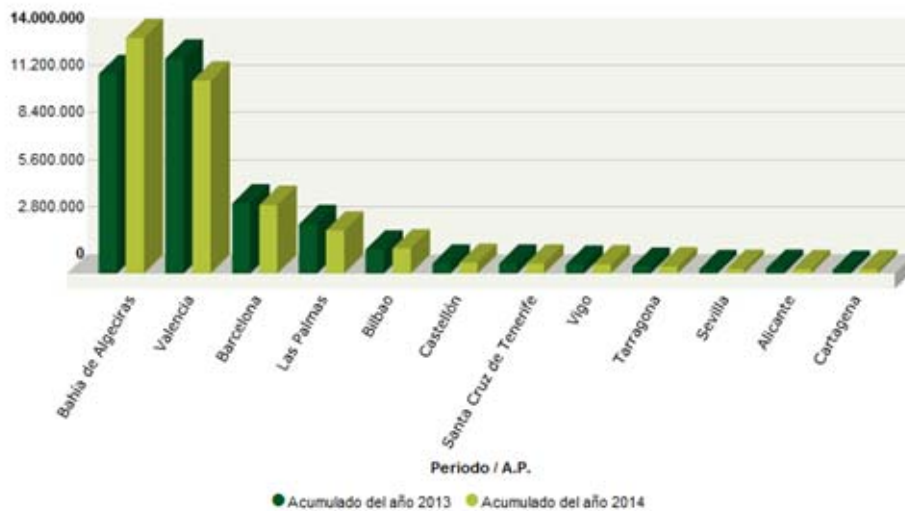
Las reducciones tarifarias que entraron en vigor en enero tendrán un impacto negativo de 60 millones en los ingresos de 2014, lo que Puertos espera compensar con un crecimiento en tráfico del 3%.

Por el lado de la inversión privada, se esperan proyectos por 600 millones este ejercicio, a la vista de las licitaciones en marcha. En 2013 las empresas destinaron 550 millones a desarrollos portuarios frente a los 1.000 millones previstos. La diferencia se explica principalmente por el retraso de decisiones empresariales y por atascos burocráticos.

Nueve de los 28 puertos bajo el paraguas del Ministerio de Fomento están en números rojos: Alicante, Almería, Ceuta, Málaga, Melilla, Pasajes, Santa Cruz de Tenerife, Sevilla y Vilagarcía. La rentabilidad anual del resto es positiva y la rentabilidad media de las 28 autoridades portuarias es del 2,34%.

La facturación en 2013 fue de 1.028 millones, con un descenso del 0,4%. Por cifra de facturación, el Puerto de Barcelona sigue estando al frente del ranking nacional, con 158 millones de euros. Le sigue Valencia, con 119 millones y Bahía de Algeciras, con 82 millones. En términos de toneladas gestionadas, el primer puesto lo ocupa Algeciras, con casi 91 millones. Valencia (65 millones) y Barcelona (42 millones) ocupan el segundo y tercer lugar. En 2013, las caídas de tráfico son generalizadas salvo en los casos de Vigo, Alicante, Gijón, Castellón, Bilbao, Algeciras y Melilla. Destaca el fuerte retroceso de Málaga, que ha sufrido un descenso de los tráficos del 44%.

**Gráfico 2: Mercancías en Contenedores (Toneladas)**



Fuente: Documento Web de Puertos del Estado. Estadísticas 2014/3 "Mercancías en Contenedores"

## 2.2.4. La Terminal portuaria

Figura 3: Un puerto en la cadena logística



Fuente: Documento Web del European Commission "European ports: an engine for growth"

Para entender el papel de la Terminal de Contenedores dentro de la cadena logística, hay que conocer su relación con los puertos. Desde un punto de vista general, un puerto es una infraestructura puntual cuya principal función es transferir mercancías y/o pasajeros entre dos modos de transporte: el marítimo y el terrestre.

La definición que da la UNCTAD (*United Nations Conference on Trade and Development*) muestra claramente el carácter multifuncional de los puertos: "Los puertos son interfaces entre los distintos modos de transporte y son típicamente centros de transporte combinado. En suma, son áreas multifuncionales, comerciales e industriales donde las mercancías no sólo están en tránsito, sino que también son manipuladas, manufacturadas y distribuidas. En efecto, los puertos son sistemas multifuncionales, los cuales, para funcionar adecuadamente, deben ser integrados en la cadena logística global. Un puerto eficiente requiere no sólo infraestructura, superestructura y equipamiento adecuado, sino también buenas comunicaciones y, especialmente, un equipo de gestión dedicado y cualificado y con mano de obra motivada y entrenada".

Para dar una idea de la importancia de los puertos en la actual economía podemos citar que según datos de la ESPO (*European Sea Ports Organisation*) en Europa trabajan de forma directa en servicios y operaciones portuarias más de 350.000 personas y, considerando los puestos de trabajo indirectos que genera el sector, proporciona unos 2.500.000 empleos. En los puertos europeos hacen escala anualmente 2.000.000 de buques que manipulan 3.500 millones de toneladas de mercancías y transportan a 350 millones de pasajeros.

El manual de formación "Gestión de Mercancías" promovido por el ministerio de fomento en colaboración con Puertos del Estado, explica que en todos los puertos, la infraestructura es utilizada por dos tipos de clientes: por un lado los buques, que utilizan los amarres del puerto o fondean dentro de sus aguas y, por otra parte, las empresas que trabajan dentro del área portuaria y que ofertan servicios a los buques (remolcadores, estibadores, terminales, empresas de reparación, etc.). Los primeros pagan tarifas que recaen sobre el barco o la mercancía, mientras que los segundos pagan cánones por el uso de espacio dentro del recinto portuario.

Entre estos últimos están las terminales portuarias que operan en el puerto a través de contratos de concesión. Estos contratos de concesión recogen las obligaciones de pago que el operador de la terminal tiene con el puerto. La contraprestación por el uso de la infraestructura en general se realiza mediante el pago de un canon que suele establecerse como una cuantía fija por metro cuadrado, o como una cuantía variable por tonelada o TU manipulado, o como una combinación de ambos.

La unitización de contenedores provocó una transformación trascendental en las terminales portuarias. Como nodo de transferencia modal, éstas pasan a buscar la dedicación exclusiva a este tipo de cargas, dotándose de maquinarias e instalaciones necesarias para tal cometido. Las primeras terminales especializadas entraron en servicio en 1960 fueron las Terminales de Contenedores de Rotterdam y Hamburgo.

Una terminal portuaria es un intercambiador modal que suele disponer de un área de almacenamiento en tierra para coordinar los diferentes ritmos de llegada de los modos de transporte terrestre y marítimo (Monfort et al.2001).

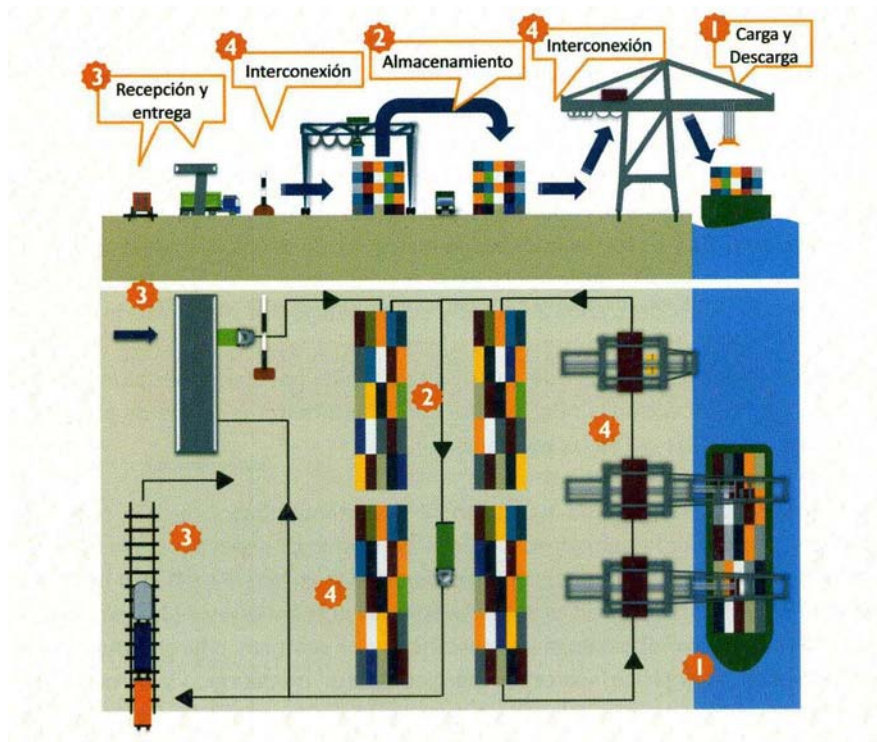
Por el contrario, en el territorio español fue a finales de la década de los años sesenta la naviera Contenemas S.A inicia el transporte de contenedores por vía marítima y terrestre conjuntamente con la empresa de transporte por carretera Transebro S.A y la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE).

Las terminales portuarias están compuestas por cuatro subsistemas:

1. El subsistema de carga y descarga de buques: es el encargado de resolver la interfaz marítima, con todos los aspectos de infraestructura y equipamiento que aquello conlleva (muelle, medios de carga y descarga, etc.), y las relaciones que, con los agentes implicados, son precisas en esta fase.
2. El subsistema de almacenamiento de contenedores: normalmente ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal y su función es la de depósito temporal de las mercancías, permitiendo acompasar el ritmo y las prestaciones de los distintos medios de transporte. La disposición de este subsistema y su extensión dependen y son función de la tipología de la mercancía y de la forma de presentación de la misma, del tiempo de estancia, del volumen de tráfico, del equipamiento principal y de la lógica operacional (sentidos de circulación, alturas operativas, zonificaciones) que se empleen.
3. El subsistema de recepción y entrega terrestre: está integrado por las puertas terrestres para camión y ferrocarril, por las tuberías o por las cintas, en función de cada caso, equipadas con aquellas instalaciones que se dispongan para facilitar la captación del alto volumen de información que en esa zona se adquiere, y por los espacios y equipos precisos para realizar la operación.
4. El subsistema de interconexión: es el que asegura el transporte de las mercancías entre los subsistemas anteriores. Más que estar ligado a un espacio físico concreto (como pudieran ser los viales internos de interconexión), este subsistema comprende la solución tecnológica adoptada en cada caso para los movimientos físicos y de información que se precisan. En función de la tipología de la terminal y del equipo del subsistema de almacenamiento, se empleará una determinada

maquinaria para cada uno de los movimientos y para el transporte interno de la mercancía.

**Figura 4: Ejemplo de subsistemas de una terminal de contenedores**



Fuente: Libro: MONFORT Y AL (2011)

La terminal portuaria se entiende como nodo de la cadena logística cuyo objetivo es maximizar la eficiencia del conjunto de actividades (no solo portuaria) que posibilitan el transporte de la carga desde el origen hasta su destino.

Los objetivos principales de este tipo de terminales son los de ofrecer condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respeto al medio ambiente y economía. Así, las mejoras en la oferta se conseguirán a través de la aplicación de avances tecnológicos para aumentar los rendimientos y coordinar las distintas actividades de la cadena, es decir, optimizando cada eslabón de la cadena antes de invertir en infraestructura.

Como en muchos otros sectores, en las últimas décadas el sector de las terminales de contenedores ha experimentado procesos de integración horizontal y vertical que han afectado a la inserción de las mismas en redes de negocio y cadenas logísticas.

Así, existe una tendencia hacia la integración vertical que relaciona los sectores logísticos y de transporte, no solo marítimo, y que incluye a la actividad portuaria, en la consolidación de todos los servicios en la figura de un gran operador logístico.

**Figura 5: Evolución de los operadores logísticos**



*Fuente: Libro: MONFORT, A; MONTERDE, A; SAPIÑA, R; MARTÍBN, AM; CALDUCH, D; VIERIA, P (2011)*

### 2.2.5. El Operador Logístico

Según la definición desarrollada por Lógica (2011), Organización Empresarial de Operadores Logísticos, un operador logístico es una empresa que, por encargo de su cliente, diseña los procesos de una o varias fases de su cadena de suministro (aprovisionamiento, transporte, almacenaje, distribución e incluso ciertas actividades de su proceso productivo), organiza, gestiona y controla dichas operaciones, utilizando para ello infraestructuras físicas, tecnología y sistemas de información propios o ajenos.

Por su parte, los operadores portuarios son empresas que en su actividad básica gestionan terminales portuarias con todo lo que ello conlleva en cuanto a recursos (infraestructura, medios mecánicos, personal) y relaciones comerciales tanto con los clientes como con las administraciones competentes, como por ejemplo Autoridades Portuarias.

Para este último tipo de operadores, los portuarios, es para el que se desarrolla el modelo estudiado en este trabajo.

En el siguiente capítulo se expondrán aspectos sobre la logística del contenedor vacío que ayudará a comprender los datos utilizados en el modelo.

## 2.3 La Logística del Contenedor Vacío

### 2.3.1. Niveles de aplicación de la logística

La logística del contenedor vacío se puede considerar a través de dos niveles: internacional y local o regional (Boile y Theofanis, 2008). El primero tiene que ver con el movimiento de contenedores vacíos a escala mundial para revertir el problema de desequilibrio a lo largo de los principales ejes comerciales mundiales. Este es gestionado directamente por las compañías

navieras a nivel mundial, y el objetivo es el de asistir a un superávit mundial de contenedores y la escasez, contemplando las rutas de los barcos, los horarios y la capacidad libre.

El segundo es el que se va a estudiar en este Trabajo Final de Carrera.

### 2.3.2. Definiciones y tipologías de contenedores

Según la definición del Convenio Internacional sobre la Seguridad de los Contenedores (CSC) de 1972, un contenedor es un elemento de equipo de transporte:

1. De carácter permanente y, por tanto, suficientemente resistente para permitir su empleo repetido.
2. Ideado para facilitar el transporte multimodal, sin manipulación intermedia de carga.
3. De fácil manipulación.
4. De un tamaño tal y que la superficie delimitada por las cuatro esquinas inferiores exteriores sea, por lo menos, de 14 metros cuadrados o, como mínimo, de 7 metros cuadrados si lleva cantoneras superiores.

El contenedor aparece en el mercado del transporte marítimo estadounidense en los años 60. Su uso se extendió progresivamente, y consecuentemente los modelos de contenedor se normalizaron según los estándares de la ISO (*International Organization for Standardization*). La norma desarrollada fue el ISO-668, y su aplicación ha dado nombre a los contenedores como "contenedores ISO".

Los contenedores pueden utilizarse para transportar todo tipo de objetos voluminosos o pesados: motores, maquinaria, pequeños vehículos, etc, o mercancía paletizada. El transporte de carga a granel es la menos frecuente en contenedores.

Las dimensiones del contenedor se encuentran normalizadas para facilitar su manipulación.

Los contenedores son fabricados principalmente en acero corten, pero también los hay de aluminio y algunos otros de madera contrachapada reforzados con fibra de vidrio. En la mayor parte de los casos el suelo es de madera, aunque ya hay algunos de bambú. Interiormente llevan un recubrimiento especial anti-humedad, para evitar las humedades durante el viaje.

Otra característica definitoria de los contenedores es la presencia de *twistlocks* en cada una de sus esquinas, lo cual permite que el contenedor sea enganchado por grúas especiales, así como su anclaje tanto en buques como en camiones.

Los contenedores pueden clasificarse según diferentes criterios como son:

1. El tamaño.
2. La forma de presentación de la mercancía.
3. El material de fabricación.
4. La propiedad del contenedor.

Las clasificaciones más importantes son el tamaño y la forma de presentación de la mercancía.

### Clasificación de contenedores según su tamaño

Los modelos más importantes con los básicos, llamados 20' (veinte pies) y de 40' (cuarenta pies de longitud), ambas medidas externas. Un contenedor de 20' se conoce con el nombre de "TEU" (*Twenty Feet Equivalent Unit*) y uno de 40' se conoce como FEU (*Forty Feet Equivalent Unit*); si bien se ha extendido universalmente la voz de TEU, para definir los contenedores, entendiéndose que un 40' son 2 TEU.

Las dimensiones de los contenedores están reguladas por la norma ISO 6346, y pueden variar en largo y alto, manteniendo el ancho fijo.

### Clasificación de contenedores según la forma de presentación de la mercancía

La siguiente tabla muestra de forma ilustrada las especificaciones técnicas y descripción de los diferentes tipos de contenedores:

**Tabla 3: Clasificación y tipología de los contenedores**

<p><i>DRY VAN</i> (O cerrados- también conocidos como "Box")</p>	<p>Contenedores estándar, cerrados herméticamente y sin refrigeración o ventilación.</p>	
<p><i>HIGH CUBE</i></p>	<p>Contenedores estándar comúnmente de 40 pies; su característica principal es su sobre altura (9,6 pies), esto supone un incremento del 13% de su capacidad cúbica interna</p>	
<p><i>REEFER</i> (Frigorífico)</p>	<p>Contenedores refrigerados, ya sea de 40 o 20 pies, que cuentan con un sistema de conservación de frío o calor y termostato. Deben ir conectados en el buque y en la terminal, incluso en el camión si fuese posible o en un generador externo, funcionan bajo corriente trifásica.</p>	
<p><i>OPEN TOP</i> (Techo abierto)</p>	<p>Posee las mismas medidas que los anteriores, pero abiertos por el techo. Puede sobresalir la mercancía pero, en ese caso, se pagan suplementos en función de cuánta carga haya dejado de cargarse por este exceso (pago de slots o espacio del buque). Los hay de 20' y de 40'.</p>	

	<p>Normalmente el toldo se fijaba al contenedor a través de anillas y un cable de acero, sin embargo, ya hay nuevos modelos, llamados <i>Sliding Open Top</i>, en los que el toldo se desliza por un riel, y no hay que desmontarlo para meter la carga en el contenedor como el caso de los antiguos.</p>	
<p><i>FLAT RACK</i> (Plataforma)</p>	<p>Carecen de paredes laterales e incluso, en algunos casos, de paredes delanteras y posteriores. Se emplean para cargas atípicas y pagan suplementos de la misma manera que los <i>open top</i>. Suelen llevar maquinarias, y grandes piezas, y tienen la facilidad que pueden cargar en "<i>Break Bulk</i>" que consiste en la colocación de varias plataformas unidas lateralmente para cargas de muy grandes volúmenes, como purificadoras, vagones de tren, etc.</p>	
<p><i>OPEN SIDE</i> (Costado abierto)</p>	<p>Su característica es que es abierto en uno de sus lados, sus medidas son de 20 o 40 pies. Se utiliza para cargas de mayores dimensiones en longitud que no se pueden cargar por la puerta del contenedor.</p>	
<p><i>ISO TANK</i> (Contenedor cisterna)</p>	<p>Se utiliza para transportes de líquidos a granel. Se trata de una cisterna contenida dentro de una serie de vigas de acero que delimitan un paralelepípedo cuyas dimensiones son equivalentes a las de un "<i>dry van</i>". De esta forma, la cisterna disfruta de las ventajas inherentes a un contenedor: pueden apilarse y viajar en cualquiera de los medios de transporte típicos del transporte intermodal.</p>	

Fuente: Elaboración Propia

La estandarización del contenedor como elemento de transporte de la cadena logístico-portuaria ha ido acompañada de la estandarización de los medios de manipulación y de los buques, con evidentes mejoras sobre la productividad y la seguridad de la mercancía entre otras ventajas.



### 2.3.3. Identificación del contenedor.

Todos los contenedores que circulan por aguas internacionales se registran en el *Bareu International du Container (B.I.C)*. La misma otorga el código del propietario al cual corresponde dicho contenedor, la identificación de categoría, el número de serie y su correspondiente número de autocontrol.

Dichos números están basados en una serie de cálculos matemáticos que permiten fácilmente identificar a cada uno de los contenedores que operan en el transporte de carga marítima del mundo y en consecuencia, su responsable frente al comercio internacional.

Con el sistema internacional podemos identificar un contenedor determinado. Dicho sistema se compone de varios códigos que en conjunto permiten conocer su origen, datos del propietario, tipo de contenedor, etc.

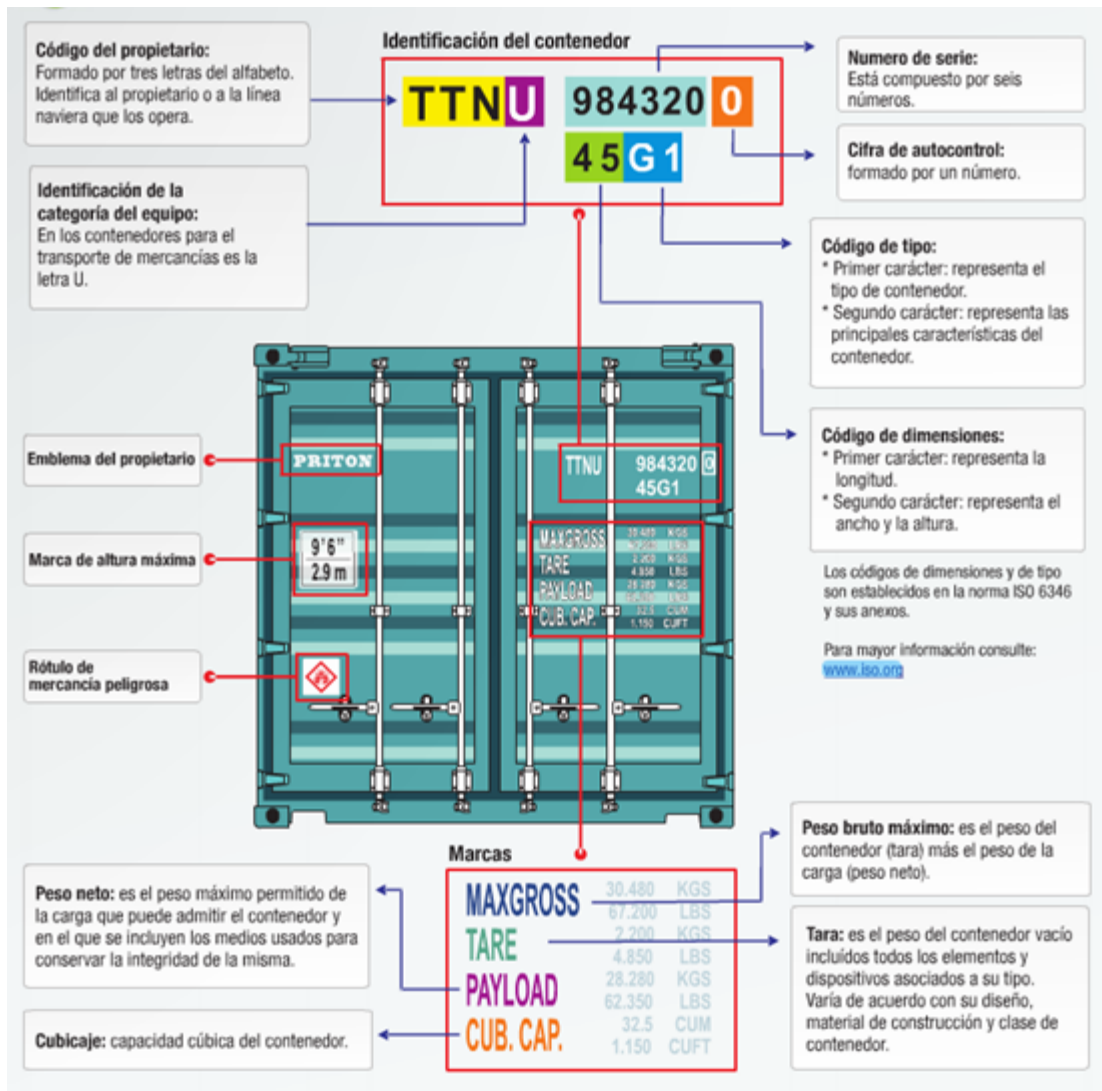
La Organización Internacional de Normas (I.S.O.) se estableció un sistema de codificación de fácil lectura e interpretación (Norma I.S.O. Nº 2716).

La identificación de contenedores se efectúa mediante una combinación alfanumérica de 11 dígitos.

- Un Código de propietario comúnmente conocido como código BIC.
- Una letra de identificación del tipo de equipamiento.
- Un número de Serie.
- Un dígito de comprobación.
- Un código que establece la medida y el tipo de contenedor.
- Un código de país.
- Marcas de operación.
- Indicación del peso máximo de la tara en kilogramos y libras.

La siguiente ilustración muestra en detalle las características de identificación recién comentadas.

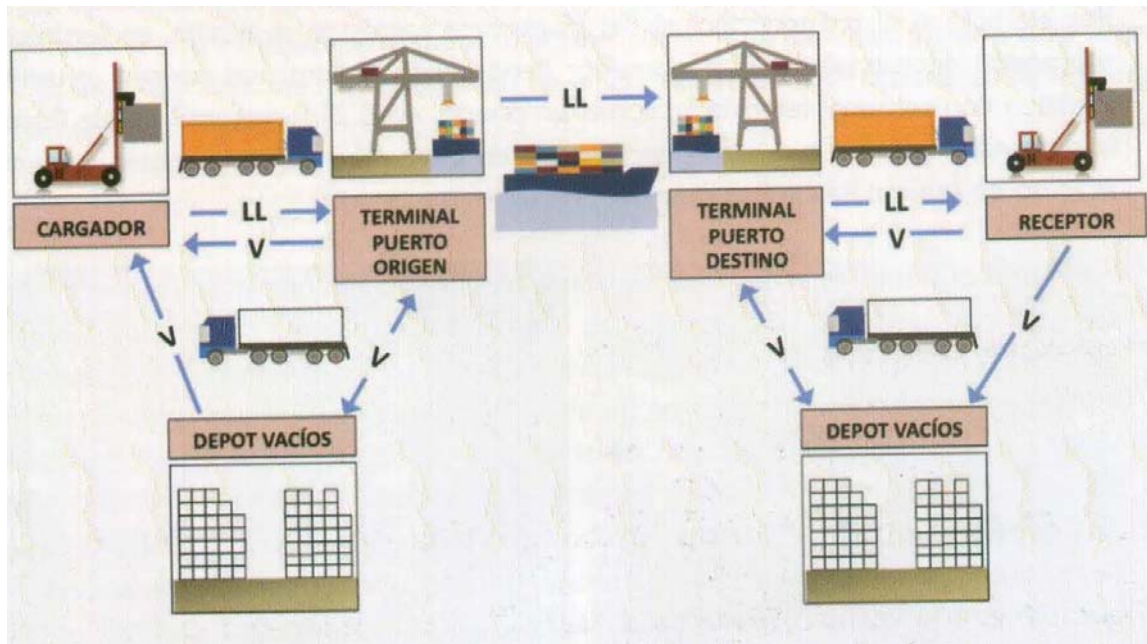
Figura 6: Identificación y marcas de un contenedor



Fuente: Publicación en Legicomex-com "Infografía Sobre Contenedores" (Julián Gómez)  
[http://issuu.com/legicomex/docs/infograf\\_a\\_sobre\\_contenedores/1](http://issuu.com/legicomex/docs/infograf_a_sobre_contenedores/1)

### 2.3.4. Gestión logística de los contenedores dentro de la naviera

Figura 7: Cadena Logística del contenedor: Intermodalidad marítimo-terrestre



Fuente: Libro: Monfort, A; Monterde, A; Sapiña, R; Martíbn, Am; Caldach, D; Viera, P (2011)

La Figura 7 es una representación simplificada de la cadena logística al paso del contenedor por el puerto. Esta comienza con un tramo de transporte terrestre cuando el cargador recibe un contenedor vacío que proviene de una terminal portuaria o de un depósito de contenedores vacíos (depósito). El contenedor se llena y se traslada a una terminal portuaria donde es embarcado. En el puerto de destino, se descarga y otro transportista terrestre lo traslada al almacén del receptor, que lo vacía. Una vez vaciado, el contenedor es trasladado de nuevo a un depósito o a una terminal portuaria.

Este esquema describe el caso básico, con un único tramo terrestre en origen y en destino, y un solo tramo marítimo entre ambos, considerando contenedores completos en origen y destino (*Full Container Load, FCL*)

Se habla de contenedores completos (FCL) cuando toda la mercancía pertenece a un mismo cargador y tiene un único destinatario y por tanto, no es necesario consolidar el envío de varios cargadores ni se produce ruptura de carga. En el caso de que haya consolidación o desconsolidación de la carga se tratará de contenedores de grupaje o LCL (*Less than Container Load*).

En el caso de que el transitario se ocupe de consolidar la carga de varios de sus clientes en un contenedor, a efectos documentales éste es tratado como un FCL.

Todo lo anteriormente explicado nos muestra el gran coste económico que representan los contenedores marítimos para su mantenimiento, su puesta en condiciones para cargar, su acondicionamiento para requerimientos específicos por parte de los clientes, así como la importancia de los mismos para poder transportar las mercancías.

Las empresas navieras dan cada vez más importancia los costes que representa la logística del contenedor sobre todo debido al aumento de exigencias de los clientes con respecto a la seguridad y eficiencia de la carga.

La especialización y profesionalización de los actores relacionados con el mantenimiento de los contenedores, así como la mayor exigencia de calidad en los trabajos para tal fin, supusieron un aumento de los precios que se pagaban originalmente, llevando a los armadores a replantearse su filosofía económica de cara al ciclo del contenedor.

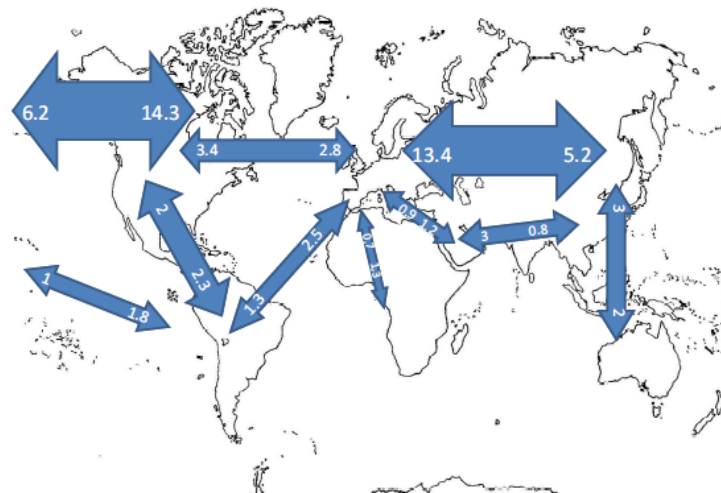
### **2.3.5. Principales retos en la gestión logística de los contenedores**

A pesar de las muchas ventajas que tiene el transporte de mercancías en contenedor, comentadas en el apartado 2.2.2. La Unitización de la carga, también encontramos inconvenientes:

1. Se necesita una gran inversión inicial de capital para comenzar el transporte en contenedores (construcción de contenedores, equipamiento específico en terminales, etc.).
2. Requiere utilización a gran escala para armonizar las inversiones.
3. Algunas mercancías no son aptas o su transporte en contenedor no resulta económico.
4. Los contenedores no siempre viajan llenos lo que reduce la rentabilidad.
5. En algunos puertos no existen los medios de manipulación adecuados.
6. Para su uso requiere una logística de ámbito mundial, en la que se tengan en cuenta los puntos de carga y descarga, la operativa de los depósitos de almacenaje, el mantenimiento y reparación de los contenedores, su inspección, el movimiento de vacíos dependiendo de la oferta y la demanda, etc.

A nivel macroeconómico se encuentra la problemática de los desequilibrios de flujos del contenedor vacío. Puesto que existen importantes desequilibrios mundiales entre las principales rutas de transporte marítimo (Este/Oeste), las compañías navieras tienen a acumular un gran número de contenedores vacíos en varios puertos de importación dominantes (mayormente Europa y en EEUU) que tienen que ser reposicionados a diferentes puertos de exportación dominantes (mayormente Asia) donde son requeridos.

**Figura 8 Tráfico principal contenedor (millones de TEUs) países**



Fuente: Salvador Furió, Carlos Andrés, Belarmino Adenso-Díaz, Sebastián Lozano (2014)

Puesto que la incidencia del contenedor vacío en las principales rutas de comercio excede el 21% del tráfico total (Dekker, 2009) y que los contenedores pasan más de la mitad de su vida almacenados o siendo transportados vacíos para ser reposicionados (Crinks, 2000) la logística del contenedor vacío se ha convertido uno de los costes más relevantes para las compañías navieras. (Wang and Wang, 2007)

## 2.4 Aplicaciones a la logística del contenedor vacío

Hay muchos trabajos previos en la literatura que presentan la modelización para resolver el problema de la asignación de contenedores vacíos.

El artículo sobre el cual versa este trabajo, *“Optimization of empty container movements using street-turns: application to Valencia hinterland”*, Salvador Furió, Carlos Andrés, Belarmino Adenso-Díaz, Sebastián Lozano, repasa la literatura en búsqueda de aproximaciones de pasadas investigaciones a la logística del contenedor vacío.

El artículo apunta que uno de los primeros trabajos presentando modelos de red para la gestión de contenedores vacíos fue publicado por White (1972). Sin embargo, el problema recibió poca atención hasta el final de la década de 1980.

La siguiente Tabla presenta una clasificación de la investigación existente en función de si los autores consideran datos deterministas o estocásticos/difusos o si estudian el problema a nivel global o nivel local.

**Tabla 4: Clasificación de estudios sobre el contenedor vacío existentes**

	Alcance determinista	Alcance Estocástico
Nivel global	Di Francesco et al. (2005) Wang and Wang (2007) Shintani et al. (2007) Bandeira et al. (2009) Hajeeh and Behbehani (2011)	Cheung and Chen (1998) Shen and Khoong (2005) Di Francesco et al. (2009,2013) Dong and Song (2009) Wang and Tang (2010) Chou et al. (2010) Song and Dong (2011)
Nivel local	White (1972) Dejax and Crainic (1987) Crainic et al. (1989) Choong et al. (1992) Boros et al. (2008) Brackers et al. (2013)	Crainic et al. (1993) Song and Zhang (2010)

*Fuente: Elaboración propia a partir del artículo de Salvador Furió, Carlos Andrés, Belarmino Adenso-Díaz, Sebastián Lozano (2014)*

Como se puede ver, el artículo apunta que la mayoría de los enfoques ya publicados estudian la logística a nivel global y teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda y suministro de los contenedores vacíos.

La asignación de contenedores vacíos a nivel local ha sido algo menos estudiada.

Con respecto al hueco que tiene el modelo estudiado en la literatura, según los autores no existen estudios que consideren el conjunto de características incluidas en la formulación del problema de su modelo.

## **CAPÍTULO 3**

---

FUNDACIÓN VALENCIAPORT





## CAPITULO 3. FUNDACIÓN VALENCIAPORT

### 3.1 Introducción

La Autoridad Portuaria de Valencia (España), conocido comercialmente como ValenciaPort, gestiona los tres puertos estatales de Valencia, Sagunto y Gandía que se encuentran a lo largo de 80 km de la costa este mediterránea de España.

El Puerto de Valencia es el puerto más importante de España desde un punto de vista comercial, ocupando el primer puesto en el ranking según volumen de contenedores de comercio exterior (importaciones + exportaciones).

El puerto de Valencia ocupa el puesto 30 entre los 125 más importantes del mundo en movimiento de contenedores. Es también el primer puerto español en esta clasificación, por delante de Algeciras, Barcelona, Las Palmas y Bilbao. Tras los gigantes asiáticos, Estados Unidos, Alemania y Holanda, aparece España como la undécima del mundo en número total de contenedores movidos y tercera de Europa.

Concretamente, el puerto de Valencia es el primero del Mediterráneo, quinto europeo y el 30 del mundo. Movié cerca de 4,5 millones de contenedores en 2012, un 3,3% más que en 2011, según datos publicados por el Ministerio de Fomento.

ValenciaPort es una buena opción para las compañías navieras, debido a su *hinterland* (51% del PIB español y la mitad de la población empleada de España se encuentran en un radio de 350 kilómetros). Por otra parte está su situación geoestratégica privilegiada, ya que se encuentra en el centro de la costa oeste mediterránea, en línea con el corredor del envío de este a oeste cruzando el Canal de Suez y el Estrecho de Gibraltar. Esto lo posiciona como el primer y último puerto de escala para la línea regular principal de las compañías navieras que navegan entre América, la cuenca del Mediterráneo y el Lejano Oriente.

Como puerto *hub* del Mediterráneo Occidental, ValenciaPort permite que las mercancías sean distribuidas de manera eficiente en un radio de 2.000 km, no sólo en los países del sur de la UE, sino también en el Norte de África. Es por esta razón que las principales líneas de transporte marítimo mundial de contenedores operan en el Puerto de Valencia.

Con respecto al problema de la logística de los movimientos de contenedores vacíos, hay una flota de alrededor 3.000 camiones de contenedores que operan en todo el Puerto de Valencia y cubren anualmente más de 215.000.000 kilómetros, la mitad de ellos con los contenedores vacíos. Como se expone en el artículo estudiado, con sólo un 10% de reducción en los movimientos de contenedor vacío se podría ahorrar más de 7 millones de €. El continuo incremento en el puerto del tráfico de contenedores (con tasas anuales medias de crecimiento superiores al 10%) y la ampliación del puerto previsto (que duplicará la capacidad de las terminales de contenedores) hace necesario llevar una buena logística que reduzca los movimientos de camiones mediante la reducción de movimientos de contenedores vacíos y promoviendo alternativas como el transporte ferroviario.

### 3.2 Principales líneas de actuación

- Promoción de la innovación, colaborando con empresas, instituciones y centros de formación e I+D+i en la puesta en marcha de proyectos de vanguardia al servicio de la competitividad de las empresas del Puerto de Valencia.
- Cooperación activa con otros clústeres en el ámbito marítimo y portuario, líderes en la generación y gestión de conocimiento, incorporando las mejores prácticas en el plano internacional al acervo del Puerto de Valencia.
- Gestión del conocimiento, promoviendo la formación para la mejora continua del capital humano de la comunidad logístico-portuaria.
- Dinamización del clúster de ValenciaPort, promoviendo el diseño, puesta en marcha y ejecución de proyectos de I+D orientados a la mejora de la competitividad de las empresas que desarrollan su actividad en el puerto de Valencia.
- Puesta en valor internacional del Know-How del Puerto de Valencia, mediante una política activa de cooperación con comunidades portuarias de todo el mundo y el apoyo a los operadores logísticos españoles en sus procesos de internacionalización.
- Vertebración de la comunidad logístico-portuaria, fomentando la cooperación en el sector y el acercamiento y el diálogo con la sociedad civil, en el marco de una estrategia colectiva de responsabilidad social.

### 3.3 Misión, visión y valores

#### Misión

Favorecer de manera sostenible la competitividad exterior del tejido económico y social de su área de influencia a través de una oferta competitiva en calidad y precios de infraestructuras y servicios portuarios, marítimos, intermodales y logísticos, alineados con las demandas sociales y la política europea de transporte y de desarrollo sostenible.

#### Visión

- Mayor Puerto Interoceánico de la Península Ibérica referente en costes de escala
- *Hub* regional y Plataforma Logística Líder en el Mediterráneo Occidental
- Consolidar y aumentar el status como puerto interoceánico
- Dar servicio a los tráficos de mayor influencia para el desarrollo económico y social
- Desarrollar las Plataformas Logísticas
- Establecer un modelo de desarrollo seguro y sostenible
- Mover 90 mio Ton. y 6.2 Mio TEU's de capacidad

#### Valores

- Sostenible económicamente: optimización de ingresos, costes e inversiones para asegurar la autofinanciación a corto y largo plazo de la APV
- Sostenible socialmente: coordinación para la adecuada remuneración y convivencia de los diferentes agentes de la Comunidad Portuaria

- Sostenible medioambientalmente: optimización de la gestión sobre el entorno, la calidad de las aguas, del aire y el ruido
- Alineado con las políticas europeas de transporte: fomento de la intermodalidad ferroviaria y con el transporte marítimo de corta distancia
- Orientación al mercado
- Eficiencia e Integración intermodal de los Servicios Portuarios

### **Objetivos**

La Fundación ValenciaPort tiene como principal objetivo servir a la comunidad logístico-portuaria para su vertebración y la mejora continua de su equipo humano, que permita alcanzar un marco de excelencia en investigación, innovación, formación, cooperación e internacionalización y que contribuya a reforzar la competitividad de nuestra economía de modo que los servicios ofrecidos por el clúster de ValenciaPort a sus clientes en su conjunto tengan la calidad exigida para continuar siendo líderes en el Mediterráneo.

## **3.4 Análisis externo**

El análisis PEST identifica los factores del entorno general que van a afectar a las empresas. Este análisis se realiza antes de llevar a cabo el análisis FODA en el marco de la planificación estratégica. El término proviene de las siglas inglesas para "Político, Económico, Social y Tecnológico".

### **3.4.1. Político - legales**

A continuación se presenta un listado de factores que pueden afectar, tanto positiva como negativamente, al Puerto de Valencia en distintos ámbitos dentro del campo político/legal.

#### **Normativa y regulación**

1. Previsión de una reducción de ayudas de Fondos FEDER para el periodo 2014-2020.
2. Normativa difusa para el tratamiento y almacenamiento de los dragados del puerto.
3. Mayor libertad en la fijación de tasas.
4. El límite de endeudamiento marcado por Puertos del Estado limita la capacidad financiera para abordar nuevas inversiones.
5. Los objetivos de rentabilidad mínima marcados por la nueva ley pueden limitar la capacidad para bonificar tráficos

#### **Medio Ambiente**

1. Los Puertos se encuentran permanentemente inmersos en un debate de ámbito ciudadano en torno a la compatibilidad entre el desarrollo urbano y el desarrollo industrial.

2. La Autoridad Portuaria de Valencia desarrolla iniciativas de protección al medio ambiente con doble responsabilidad, intentando alcanzar el deseado equilibrio entre el crecimiento comercial y económico y la protección de su entorno en aras de un desarrollo sostenible.
3. En el año 2000, el Consejo de Administración de la APV aprobaba la Política Ambiental, modificada en 2006.
4. En 2005, la APV fue la primera Autoridad Portuaria española en obtener la Certificación PERS (*Port Environmental Review System*).
5. En 2008 la APV fue inscrita en el registro EMAS (*Eco-Management and Audit Scheme*) de la Comunidad Valenciana.
6. Alta concienciación de las industrias instaladas en el puerto de las medidas medioambientales a adoptar en su actividad.
7. Fragilidad de los ecosistemas litorales, donde se asientan los puertos, muy sensibles a la intervención humana;

### **Seguridad**

1. Reglamentación OMI (Organización Marítima Internacional) que establece requisitos relativos a la manipulación y transporte de mercancías peligrosas y obliga a los puertos a dotarse de planes de protección y emergencia.
2. Necesarias medidas de protección para evitar accidentes con mercancías. Riesgos especiales que supone el transporte cada vez más numeroso, de mercancías peligrosas (sustancias explosivas, gases a presión, líquidos...) que han de ser manipuladas a lo largo de la cadena de suministro, y por tanto en los puertos.
3. Los recientes actos terroristas y bélicos acontecidos en el mundo (11-S, guerra de Irak,...), así como las recientes catástrofes ecológicas (Erika, Prestige) hacen que la seguridad portuaria cobre una importancia especial. Las recientes normas adoptadas por la OMI, así como las leyes aprobadas por los Estados Unidos y otros países obligan al reforzamiento de la seguridad marítima portuaria.
4. Desde el 1 de julio del 2004 los puertos deben cumplir con los requisitos estipulados por el Código de Protección a los Buques e Instalaciones Portuarias (Código ISPS según sus siglas en inglés) para considerársele como un puerto que cuenta con medidas antiterroristas y de seguridad adecuadas.

### **3.4.2. Económicos**

Según uno de los últimos artículos publicados por el periódico El Economista, los tres puertos gestionados por la Autoridad Portuaria de Valencia -Valencia, Sagunto y Gandia- han canalizado un total de 15.440.779 toneladas durante el primer trimestre del año. Esta cifra

representa un retroceso del 2,91 por ciento respecto al mismo periodo del año anterior, según ha informado en un comunicado esta entidad.

Asimismo, ha apuntado que en el primer trimestre del año, el tráfico de contenedores decrece un 7,56% hasta un total de 1.007.210 TEU. Este descenso se sustenta en el decremento del tráfico de tránsito que registra una contracción del 2,22% mientras que el tráfico de import-export de contenedores llenos aumenta un 4,67%.

También ha destacado que los cinco países que mayor volumen de mercancías han canalizado a través de ValenciaPort han sido: España, con 1,71 millones de toneladas y un aumento del 10,01%; Argelia, con 1,51 millones de toneladas y un crecimiento del 10,23%; China, con 1,34 millones de toneladas y un descenso del 21,83%; Italia, con 1,16 millones de toneladas y un avance del 29,70%; y Estados Unidos, con 824 mil toneladas y un incremento del 3,20%. Por áreas geográficas destaca el área del Mediterráneo y Mar Negro con 4,79 millones de toneladas y un crecimiento del 10,92%; y la del Lejano Oriente, con 2 millones de toneladas y un descenso del 12,89%.

### **Infraestructuras adecuadas**

1. La búsqueda de economías de escala ha incrementado notablemente el tamaño de los buques y esto requiere importantes cambios en cuanto a las necesidades de infraestructuras portuarias: mayores calados, alineaciones más largas, grúas especializadas, explanadas mayores para el depósito de los contenedores, mayor coordinación para la realización de las operaciones,...
2. Los cruceros, cada vez mayores, tienen dificultades para atracar en puertos que no esté preparados para recibirlos.
3. Necesidad de Planes Estratégicos bien estudiados y reflexionados para poner en marcha inversiones en las infraestructuras portuarias. Por ejemplo el proyecto "Plan Estratégico RUMBO 2020" establece las bases de mejora en la APV en este ámbito, entre otros.

### **Coste y productividad**

Uno de los factores más importantes para la competitividad portuaria es el coste, muy ligado a la productividad.

1. Múltiples costes relacionados con la logística portuaria, en la mayoría de los casos altos: costes de manipulación de la carga (THC o Terminal Handling Charge), de los servicios al pasaje, de remolque, pilotaje y amarre, etc., los cánones a pagar a las administraciones (tasas portuarias), el flete marítimo, etc.
2. Los servicios portuarios se desarrollan en situación de monopolio u oligopolio: en el Puerto de Valencia hay 3 empresas de remolcadores, aunque hay numerosas terminales pero para cada tipo de producto el número se reduce significativamente. Así el ejercicio de las actividades portuarias dista mucho de producirse en un adecuado entorno de libre mercado, con lo que ello implica en temas de costes y de productividad.

3. La Unión Europea está potenciando una mayor liberalización de los servicios portuarios, de tal manera que esos puedan realizarse en régimen de competencia.

### Competencia entre puertos

1. Los puertos compiten entre sí. El Puerto de Valencia compite con Barcelona por el *hinterland* de Madrid y Aragón. Con Cagliari, Gioia Tauro i Marsaxlokk compiten por ser puerto de trasbordo en el Mediterráneo central.
2. La vertiente terrestre de los puertos cada vez cobra mayor importancia, es por ello que esta orientación hacia tierra les hace competir con otros centros de intercambio de mercancías, zonas de actividades logísticas e incluso con otros centros industriales y de producción.
3. Los puertos también compiten con otros modos de transporte, como el desarrollo de líneas de *Short Sea Shipping* (que podría traducirse por navegación de corta distancia o cabotaje de corta distancia), que son rutas marítimas capaces de competir con la carretera mediante el embarque de camiones completos o sus remolques y que permitan la descongestión de la saturada red viaria europea. Son ejemplos de líneas *Short Sea Shipping* de reciente creación la línea Barcelona-Génova, la línea Barcelona-Civittavecchia o la línea Valencia-Livorno.
4. La liberalización de servicios y la creciente aparición de operadores privados de empresas estibadoras hace que dentro de un mismo puerto exista competencia entre sus diferentes terminales de carga.
5. La estrategia de ValenciaPort debe focalizarse en continuar explotando las capacidades como *hub* mixto, ofreciendo a las navieras economías de escala por la operación simultánea de tráficos comerciales y de tránsito

### 3.4.3. Socio-culturales

#### Situación geográfica

1. El Puerto de Valencia dispone de una buena ubicación geográfica debido a dos factores decisivos: la proximidad a una importante zona de consumo o de producción, es decir, con la existencia de un *hinterland* potente alrededor del puerto y por su ubicación estratégica a lo largo de las principales rutas marítimas, como es el caso de los puertos *hub*.
2. Posición en el centro del Mediterráneo occidental en línea con el corredor marítimo este-oeste que atraviesa el Canal de Suez y el Estrecho de Gibraltar permite un menor tiempo de desvío para líneas regulares entre América, Cuenca Mediterránea y Lejano Oriente.
3. Tienen posibilidad de crear nuevas terminales, como la recientemente desarrollada para cruceros.

### Área de influencia extendida

En un radio de 2000 Km de Valencia abarca mercados de España, Portugal, Francia, Italia, Marruecos, Argelia y Túnez que representa:

- 4,386 billones de dólares en PIB
- 256 millones de habitantes (Datos Banco Mundial 2009)
- 1,916 billones de dólares en comercio

En un radio de 350 Km de Valencia se abarca:

- 55% del PIB español
- 51% de la población activa
- 42% del territorio
- 57% de las exportaciones marítimas y 56% de las importaciones marítimas

### 3.4.4. Tecnológicos

Los entornos portuarios están sometidos a diversos retos de competitividad e innovación:

- Fragmentación de la oferta y concentración de la demanda
- Integración con las cadenas logísticas de un *hinterland* y un *foreland* amplios
- Eficiencia en las operaciones de carga y descarga
- Disponibilidad de diversas opciones de intermodalidad

El objetivo del Puerto de Valencia tiene que ir encaminado a la inversión y desarrollo de nuevas tecnologías con el fin de ofrecer un servicio más eficiente. Este objetivo se alcanza mediante una infraestructura adecuada, la cual no sólo se refiere al número de muelles para contenedores, grúas, remolcadores y área del terminal, sino también a la calidad de las grúas, la calidad y efectividad de los sistemas de información, la disponibilidad de transporte intermodal (tales como carreteras y vías ferroviarias), el canal de acercamiento proporcionado y la preparación, o similar, de la administración del puerto.

Es importante saber que existen regulaciones en especificaciones técnicas, que permiten estandarizar los servicios portuarios, y de este modo, provocar una mayor competitividad.

## 3.5 Análisis interno (DAFO)

El análisis DAFO, también conocido como análisis FODA, es una metodología de estudio de la situación de una empresa o un proyecto, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) en una matriz cuadrada.

### **Debilidades**

1. Necesidad de mantener, e incluso incrementar, permanentemente los calados como consecuencia de la evolución de las flotas, supone la aplicación de importantes recursos económicos.
2. La política de la Autoridad Portuaria de Valencia en el mantenimiento de altos niveles de control y mejora de aspectos medioambientales, así como también en las relaciones puerto ciudad, suponen una aplicación de importantes recursos económicos.
3. Dependencia del puerto en tráficos concentrados en un reducido número de clientes.
4. Necesidad de obtener nuevas fórmulas de gestión y almacenamiento de los dragados para el desarrollo del puerto.
5. Necesidad de integrar continuamente sistemas de información así como de incorporar nuevos avances tecnológicos a los mismos supone la aplicación de importantes recursos económicos.

### **Fortalezas**

1. Alta aceptación por parte de los clientes y usuarios de los servicios prestados.
2. Tráficos garantizados por la industria básica y consolidación de la diversificación hacia otros tráficos.
3. Alta especialización en diversos tráficos.
4. Capacidad económica e inversora de la Autoridad Portuaria de Valencia. Ha realizado un gran esfuerzo inversor en infraestructuras de mejora y expansión del puerto.
5. Situación financiera saneada, contando con una significativa liquidez y un endeudamiento nulo.
6. Compromiso con el respeto medioambiental en la operativa portuaria y en la generación de infraestructuras.
7. Disponibilidad de instalaciones para el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio.
8. Situación geográfica cercana a las principales rutas marítimas.
9. Percepción de alta calidad de los servicios en relación con las dificultades de maniobrabilidad del puerto.
10. Fuertes y consolidadas conexiones terrestres de ferrocarril.
11. El trazado ferroviario interno cubre gran parte de la zona de servicio del Puerto de Valencia y su mantenimiento se ha venido mejorando de forma continua.



12. Consolidación del modelo de gestión portuaria de “*landlord* avanzado”, mejorando su orientación estratégica, foco en el cliente y mejora de la gestión.
13. Desarrollo de entornos de tecnologías de la información (IT) sobre los que trabajen la totalidad de miembros de la Comunidad Portuaria, implicando con ello más agilidad administrativa y trazabilidad al paso de la carga por el puerto.
14. Innovación comercial: Incrementar la fidelización del cliente y la captura de nuevos tráficos.
15. Marca de Garantía de ValenciaPort ha sido un factor clave de éxito para vertebrar la Comunidad Portuaria y garantizar un servicio de calidad.
16. ValenciaPortpcs.net ha sido una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia del puerto y reforzar su transformación y crecimiento.

#### **Amenazas**

1. La situación global de crisis financiera y económica que afecta al comercio internacional y a las inversiones financieras productivas.
2. Impacto de la crisis económica en el consumo interno así como en las inversiones públicas actuales y a medio plazo.
3. La drástica caída en tráficos ha generado una sobrecapacidad en la industria que se prevé duradera.
4. Reducción de costes de escala y mejoras en servicio ofrecidos a navieras y cargadores por puertos competidores debidos a la sobrecapacidad portuaria de los competidores nacionales e internacionales , la automatización, la irrupción de TangerMed a costes competitivos y el refuerzo de Barcelona y Algeciras.
5. Mayor presión de cargadores y navieras en los costes debido a la sobrecapacidad de las navieras y los cambios en el modelo/distribución de rutas marítimas por el impacto de la crisis (ejemplo: subida del petróleo).
6. La fuerte competencia de otros puertos europeos en la captación de nuevos tráficos y consolidación de otros.
7. Normativa difusa para el tratamiento y almacenamiento de los dragados del puerto.
8. Los Puertos se encuentran permanentemente inmersos en un debate de ámbito ciudadano en torno a la compatibilidad entre el desarrollo urbano y el desarrollo industrial.
9. Los cambios en la oferta y la demanda obligan a los puertos a diferenciarse en los factores clave de competitividad para hacer frente a las necesidades del mercado.
10. Previsión de una reducción de ayudas de Fondos FEDER para el periodo 2014-2020.

11. Nueva regulación portuaria que afecta a la necesidad de mantener los niveles de rentabilidad para ofrecer tasas competitivas, la importancia de mantener la rentabilidad para seguir bonificando tasas, y el establecimiento de límites de endeudamiento.
12. El límite de endeudamiento marcado por Puertos del Estado limita la capacidad financiera para abordar nuevas inversiones.
13. Los objetivos de rentabilidad mínima marcados por la nueva ley pueden limitar la capacidad para bonificar tráficos.
14. Caída de los tráficos I/E derivados de los menores crecimientos de PIB.

### **Oportunidades**

1. Proyecto “Plan Estratégico RUMBO 2020” establece las bases de mejora en la APV.
2. Amplias infraestructuras privadas de almacenamiento y distribución de graneles sólidos en la zona portuaria y buena maquinaria para la manipulación de estas mercancías.
3. Cercanía de rutas del mercado de cruceros susceptibles de ser absorbidas por el Puerto de Valencia, que presenta un entorno atractivo para el desarrollo de este tráfico.
4. Alta concienciación de las industrias instaladas en el puerto de las medidas medioambientales a adoptar en su actividad.
5. Cambios en el entorno regulatorio que pueden favorecer al tráfico y comercio exterior.
6. Mayor foco en la rentabilidad portuaria.
7. Mayor libertad en la fijación de tasas.

### 3.6 Plan Estratégico “Rumbo 2020”

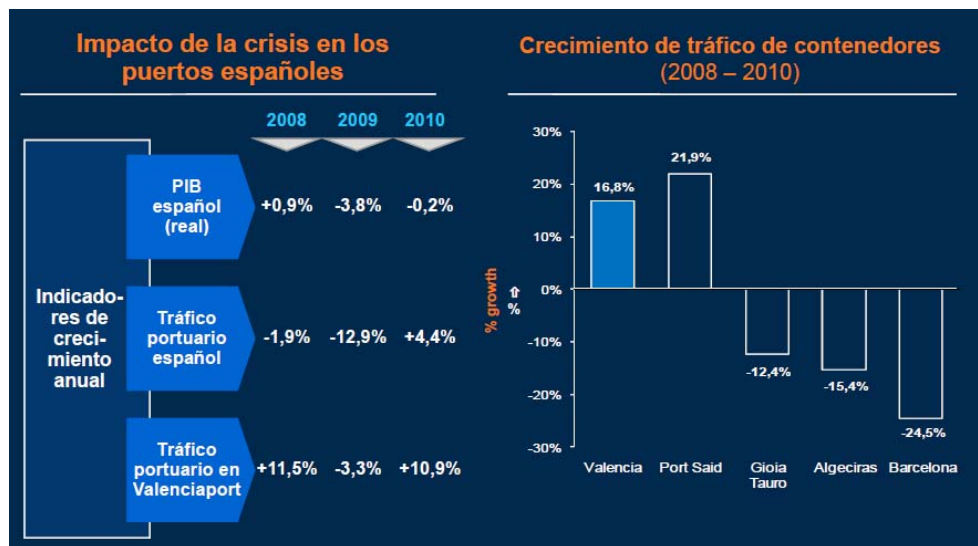
El plan estratégico es un documento formal en el que se intenta plasmar, por parte de los responsables de una compañía (directivos, gerentes, empresarios...) cual será la estrategia de la misma durante un período de tiempo, generalmente de 3 a 5 años.

Una vez visto el análisis externo e interno del Puerto de Valencia, podemos intuir líneas de actuación y estrategias a desarrollar. En cualquier caso, la Autoridad Portuaria de Valencia viene implantando Planes Estratégicos desde tiempo atrás.

En 2001 la Autoridad Portuaria de Valencia presentó un Plan Estratégico para el horizonte 2001-2015. El objetivo de este plan a gran escala era el de convertir el Puerto de Valencia en el puerto principal interoceánico, *hub* regional y plataforma logística intermodal líder del Mediterráneo Occidental.

La evolución hasta el 2007 del sector marítimo/portuario en España trajo mucho éxito para España, y ValenciaPort supo aprovecharlo. A pesar de ello, entre 2008 y 2010 la crisis económica mostró un fuerte impacto en la demanda de tráfico y por ello se vio empujada a modificar el plan estratégico. Esto se puede comprobar en la siguiente Figura :

**Figura 9: Impacto de la crisis en los puertos españoles**



Fuente: “Plan Estratégico Rumbo 2020 ” (2011) ValenciaPort

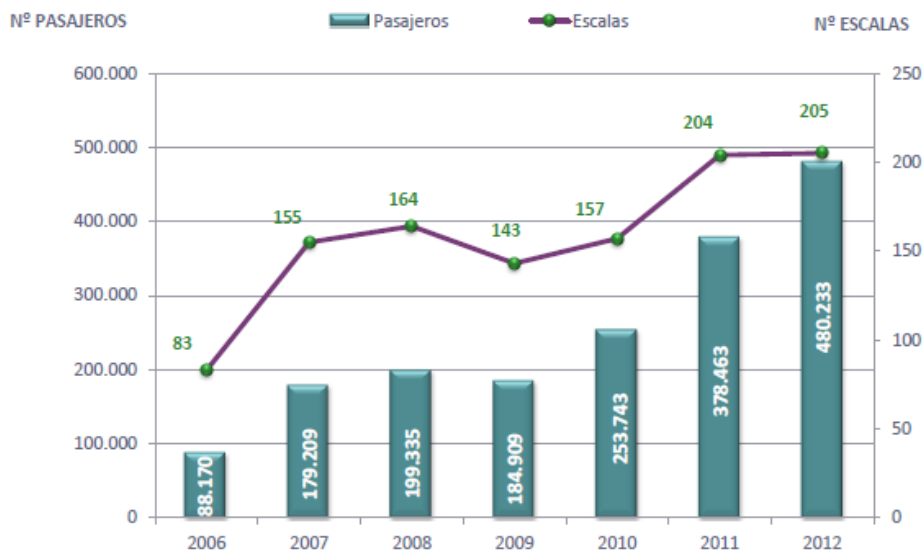
En consecuencia, se modificó el horizonte del anterior plan estratégico marcando uno nuevo: 2009-2020. Así, el nuevo Plan Estratégico vigente, “RUMBO 2020”, pretende sentar las bases de trabajo sobre la sostenibilidad, eficiencia y foco de la gestión comercial y económica. Todo esto contemplando un cambio de paradigma, de la oferta a la demanda.

Los objetivos marcados por el plan “Rumbo 2020” son:

1. Aseguramiento de la sostenibilidad económica
2. Captación de nuevos clientes. Desarrollo, gestión y comercialización de nuevas infraestructuras portuarias
3. Regulación / Control / Coordinación de los servicios de la Comunidad Portuaria
4. Mejora de la gestión interna
5. Desarrollo comercial y de las relaciones públicas y coordinación de la Comunidad Portuaria en el *Hinterland* y *Foreland*
6. Apoyo institucional para la mejora de las conexiones del puerto con redes de transporte

Por otra parte, la Autoridad Portuaria de Valencia apuesta firmemente por un nuevo producto que le puede dar mayor estabilidad económica, los cruceros. Las cifras de los últimos resultados muestran el crecimiento de este tráfico en este puerto.

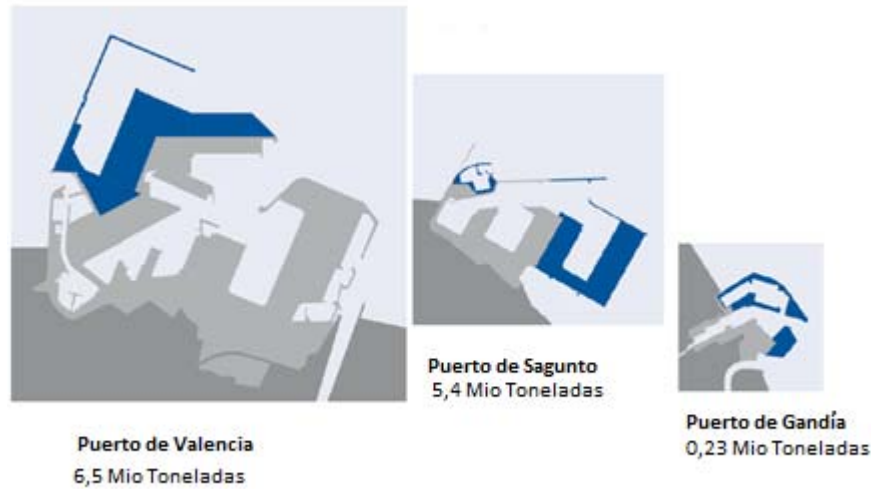
**Gráfico 3: Crecimiento del tráfico de cruceros en el Puerto de Valencia**



Fuente: *Bienvenidos a ValenciaPort, (2012) ValenciaPort*

En consecuencia, el plan marca para un próximo futuro la creación de dos nuevos muelles destinados exclusivamente al tráfico de cruceros, en los cuales podrán atracar buques de última generación.

**Figura 10: Modelo de crecimiento de infraestructuras portuarias: Ampliación de los puertos de Valencia**



Fuente: *Bienvenidos a ValenciaPort, (2012) ValenciaPort*

### 3.7 Relación de la Fundación ValenciaPort con el TFC

Como ya se ha explicado en el presente capítulo, la Fundación ValenciaPort es una fuerte institución dedicada a gestionar los puertos de la Comunidad Valenciana.

Entre sus múltiples departamentos se encuentra el departamento de Logística, con el que se ha colaborado para desarrollar el estudio del modelo plasmado en este trabajo. Es por ello importante conocer la relación del TFC con esta entidad.

El equipo de investigadores compuesto por Salvador Furió, Director de Logística en la Fundación ValenciaPort, Carlos Andrés, de la Escuela Superior de Ingeniería Industrial de la UPV, Belarmino Adenso-Díaz, de la Escuela Superior de Ingeniería de Gijón y Sebastián Lozano de la Escuela Superior de Ingeniería de Sevilla desarrolló el modelo que se presenta en el siguiente apartado, realizando su aplicación y prueba para una importante naviera. El artículo que recoge el modelo y los resultados, *“Optimization of empty container movements using street-turns: application to Valencia hinterland”*, se publicó recientemente en una revista de alto impacto del área de Gestión de Operaciones: *“Computers & Industrial Engineering”*.

Puesto que el objetivo de este TFC es el de realizar un exhaustivo estudio sobre la logística del contenedor vacío dentro del comercio internacional, y además estudiar el modelo propuesto por este grupo de investigación, han sido necesarias diversas entrevistas con Santiago Furió para conocer detalles del sector y realizar comprobaciones del modelo.

Para conocer más anécdotas relacionadas con el trabajo conjunto con la Fundación ValenciaPort, al final de los dos próximos capítulos se hablarán de particularidades surgidas a raíz del estudio del modelo.



## **CAPÍTULO 4**

---

### **METODOLOGÍA**





## **CAPITULO 4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Introducción**

Este capítulo contempla el estudio del modelo propuesto.

En primer lugar se define el problema y se detallan las distintas etapas por las que se pasa para poder plasmar la realidad de la logística del contenedor vacío en un modelo fácil de analizar. Una vez definido el problema se procederá a la formulación del modelo matemático, el cual necesita de un objetivo, la minimización de costes, y estudiará los movimientos que repercuten sobre los mismos (véase apartado 0 “Ciclo del Contenedor”). A continuación se listarán las hipótesis consideradas para finalmente describir los parámetros, variables y las restricciones.

Para terminar el capítulo se analizarán los resultados que arroja el modelo y se comentarán las dificultades encontradas a través del proceso de modelización y análisis de los datos.

### **4.2 Definición del problema**

El primer paso para definir y entender el modelo es comprender que éste constituirá una herramienta de ayuda a la gestión de contenedores vacíos para el agente marítimo. Por ello, ha sido necesario, en primer lugar, conocer el problema de asignación de contenedores vacíos e identificar qué decisiones relacionadas con su gestión debe tomar el agente marítimo.

Para comprender el entramado de decisiones que se toman en la logística del contenedor vacío, ha sido necesaria una profunda documentación sobre operaciones de los distintos agentes que operan en la cadena (terminales, depósitos de contenedores, fábricas, etc.).

Murty et al. (2005) explican de forma sintetizada todas las operaciones relacionadas con el movimiento de contenedores en una instalación de puerto. Muchas de las decisiones se identifican en esta parte del proceso (asignación de atracaderos para buques que llegan, la asignación de grúas de muelle, horarios de citas para exterior camiones, la asignación de espacio de almacenamiento, despliegue patio grúas, etc.).

Se podría afirmar que a pesar que las empresas dispongan de procedimientos sofisticados que permiten un buen control de su equipo y la disposición de información actualizada, no disponen de herramientas de ayuda a las decisiones operativas. Estas decisiones son normalmente tomadas en base a la experiencia del personal bajo ciertos criterios o hábitos de actuación no claramente definidos.

En cualquier caso, el modelo estudiado pretende ajustarse a la realidad de los desplazamientos terrestres de los contenedores vacíos, cuya solución (óptima o no) pueda servir de ayuda para la toma de las decisiones del agente marítimo. Éste podría permitir proceder de manera más automática y conseguir mejores resultados económicos.

Las decisiones operativas del agente marítimo local en relación a la logística del contenedor vacío son la asignación del lugar de salida del contenedor requerido en cada operación de

exportación (se realiza al generar la orden de transporte), la asignación del lugar de almacenamiento del contenedor liberado en cada operación de importación (se realiza al generar la orden de transporte) y la asignación y laminación de movimientos de traslado de contenedores vacíos entre los diferentes lugares de almacenamiento (terminales y depósitos)

Los objetivos buscados con las decisiones son:

1. Asegurar la disponibilidad de equipo para atender las necesidades de la exportación
2. Maximizar la utilización o llenado de los buques
3. Minimizar los desplazamientos de contenedores vacíos (coste de transporte)
4. Minimizar el coste de almacenamiento
5. Minimizar el stock de contenedores vacíos en las terminales marítimas para evitar que dificulten la operación y productividad de las mismas.

El objetivo de asegurar la disponibilidad de equipo se puede alcanzar mediante la fijación de unos stocks mínimos por tipo de contenedor en los depósitos de contenedores.

El objetivo de maximizar la capacidad de los buques se puede alcanzar mediante el cálculo del número óptimo de TEUs vacíos a cargar en cada buque. En el caso del modelo estudiado, el número de contenedores vacíos a cargar y/o descargar de un buque se toma como un dato establecido de entrada.

El objetivo de minimizar los movimientos o desplazamientos de contenedores vacíos, (coste de transporte), deberá conseguirse mediante la decisión correcta de los puntos de salida de contenedores vacíos para exportación, y de entrada de contenedores vacíos liberados en operaciones de importación, que eviten o reduzcan la necesidad posterior de traslados entre depósitos de contenedores y terminales.

El objetivo de minimizar el stock de contenedores vacíos en las terminales marítimas podría ser contradictorio al anterior en algunos casos, pudiendo alcanzarse mediante la limitación del número de días que puede estar un contenedor vacío, que entra a la terminal por modo terrestre, o por la minimización de los costes de almacenamiento

El objetivo de minimizar los costes (transporte y almacenamiento) está directamente vinculado con el de minimización de los desplazamientos y, es por ello, el objetivo principal del sistema de ayuda a las decisiones del agente marítimo.

La información que se manejará para la toma de las decisiones será:

1. Previsión de llegada de buques: fechas, situación de llegada, previsión de descargas de contenedores vacíos, previsión de descargas de contenedores llenos, previsión de transbordos, previsión de cargas de contenedores llenos, otras especificaciones. (Todas las previsiones detalladas por tipo de contenedor)
2. Stock de contenedores vacíos en terminales por tipo (información actualizada on-line)

3. Stock de contenedores vacíos en depósitos de contenedores por tipo (información actualizada on-line)
4. Previsión de vaciado de contenedores de importación según el buque o servicio
5. Previsión de salidas de contenedores de exportación para la carga según el buque o servicio
6. Previsión de llegada y salida de buques
7. Costes de almacenamiento en los diferentes depósitos y terminales
8. Distancias y costes de transporte de los desplazamientos o movimiento de contenedores

### 4.3 Formulación del Modelo

#### 4.3.1. Objetivo del modelo: minimización de costes

El modelo matemático estudiado ha sido propuesto para afrontar la asignación de los contenedores vacíos en conexión con la superficie terrestre y el equipo de manipulación de contenedores por los agentes locales marítimos.

El modelo matemático presentado minimiza los costes totales, dentro de un horizonte determinado, que derivan de los movimientos de contenedores en una operación logística. Esto se lleva a cabo teniendo en cuenta la necesidad de satisfacer la demanda para los cargadores, encajándola con la oferta de los importadores y de los contenedores vacíos, que llegan a las terminales portuarias desde otros puertos. El Coste Total incluye, por tanto, todos los costes de transporte (entre terminales, depósitos y cargadores e importadores) más los costes de almacenamiento (de depósitos y terminales).

La operativa de este sistema puede ser descrita siguiendo un contenedor lleno que se descarga en las instalaciones de un importador. El contenedor vaciado se transporta para su almacenamiento a una terminal o a un depósito. En raras ocasiones, cuando las condiciones lo permiten, el contenedor vacío puede ser directamente transportado al cargador listo para cargarlo de nuevo. A este tipo de operaciones se le llama “*Street-turn*”. Puesto que no se suele dar este tipo de situaciones el modelo obvia estos movimientos.

Normalmente los contenedores vacíos requeridos por los cargadores estarán en depósitos o terminales. Además, para equilibrar el sistema, algunos contenedores vacíos pueden ser importados o exportados a las terminales desde otros puertos. Esto deriva de los problemas comentados en el apartado 2.3.5 “Principales retos en la gestión logística de contenedores”.

En el siguiente apartado profundizaremos en el ciclo del contenedor dentro de la terminal portuaria y veremos los distintos movimientos estudiados en el modelo.

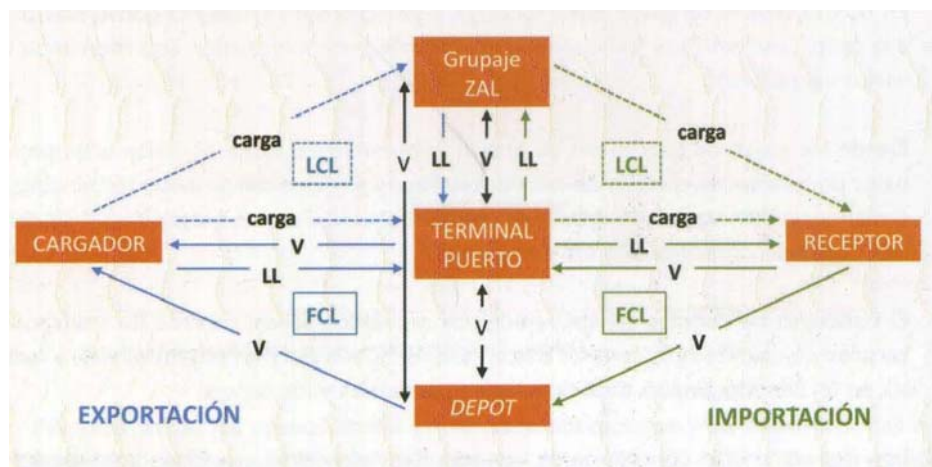
### 4.3.2. Ciclo del Contenedor

El contenedor pasa por dos tipos de conjunto de operaciones: terrestres y marítimas.

A gran escala están las operaciones marítimas. A pesar de que no se estudia este tipo de operaciones en el modelo, es interesante visualizar que en la terminal portuaria se cargan los buques con contenedores llenos y vacíos, y se descargan de los buques contenedores llenos y vacíos.

Respecto a las operaciones terrestres, a continuación se explicará detalladamente los distintos movimientos de contenedores desde la perspectiva de cada uno de los agentes implicados en el flujo físico:

**Figura 11: Operaciones terrestres de la cadena logística de contenedores FCL Y LCL**



Fuente: Libro: Monfort, A; Monterde, A; Sapiña, R; Martíbn, Am; Calduch, D; Vieria, P (2011)

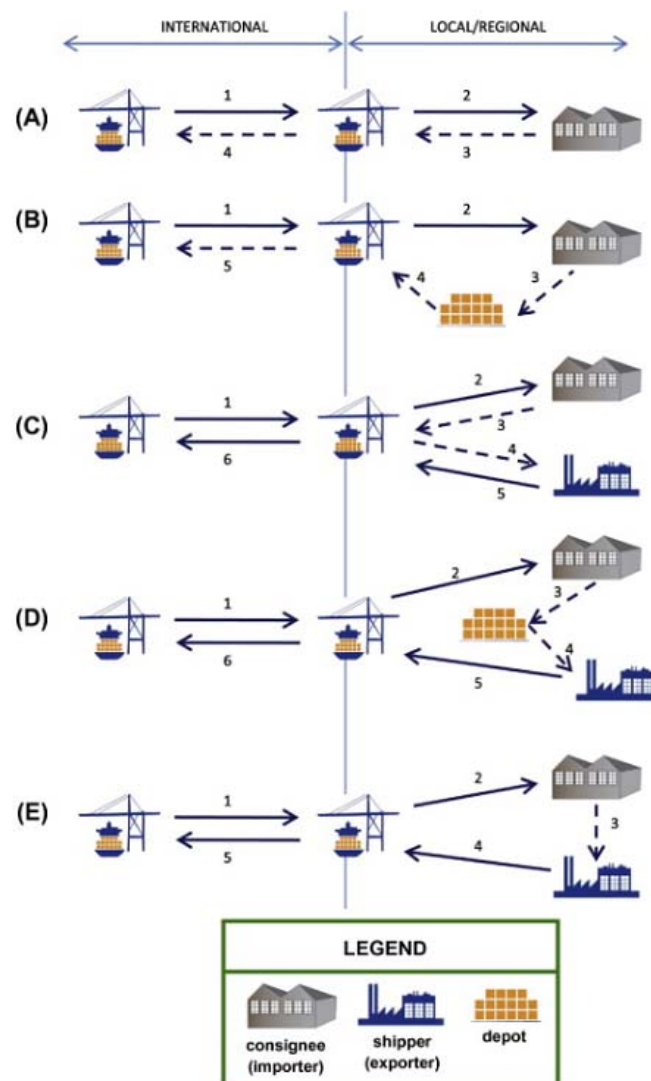
1. El cargador: recibe el contenedor vacío (V) que tiene la terminal portuaria de contenedores (en adelante TPC) o desde un depósito. Cuando lo llena (LL), el transportista terrestre lo traslada a la TPC.
2. Desde los centros logísticos se envían contenedores llenos y vacíos a las terminales portuarias, se reciben contenedores llenos y vacíos desde las terminales; se envían y reciben vacíos de depósitos; se recibe mercancía de los cargadores y se envía mercancía desconsolidada a los receptores. Los centros logísticos engloban los puertos secos, centros de transporte, de distribución, centros de carga, ZALES, plataformas multimodales, etc.
3. Los depósitos envían contenedores vacíos a los cargadores y reciben contenedores vacíos de los receptores. Además envían y reciben contenedores vacíos desde las terminales portuarias y otros centros logísticos como otros depósitos.
4. El receptor recibe contenedores llenos desde la terminal, o carga procedente de contenedores LCL (ver si está explicado Less container load) previamente desconsolidados en un centro de grupaje o en la propia terminal y envía contenedores vacíos a la terminal portuaria o al depósito de contenedores.

- La terminal portuaria envía contenedores llenos al receptor y a centros logísticos y los recibe de los cargadores y de los centros logísticos; igualmente recibe contenedores vacíos de los receptores, depósitos, y de otros centros logísticos y los envía a los cargadores, depósitos y centros logísticos.

Hay que añadir que, ocasionalmente, a requerimiento de la Aduana o de otros organismos de inspección, aparecen flujos adicionales que responden al traslado del contenedor desde el patio de la terminal portuaria a los puntos de inspección, situados dentro de la misma o en zonas del puerto designadas a tal efecto.

La figura 12 muestra los diferentes patrones de movimiento de contenedores que se pueden encontrar fuera del puerto. En estos movimientos radican la mayor parte de los costes que se estudian en el modelo.

**Figura 12: Patrones de movimiento de contenedores**



Fuente: Salvador Furió, Carlos Andrés, Belarmino Adenso-Díaz, Sebastián Lozano (2014)

- Patrón A: coincide con la operación más común, denominada “empty repositioning”, de reposicionamiento vacío. Podría tratarse de la importación de contenedores de Asia que llega a un puerto europeo, desde el cual se traslada a las instalaciones del importador para ser descargadas (movimiento 2) y, una vez vaciados, es transportado de vuelta a la terminal portuaria (movimiento 3) para ser reposicionado o devuelto vacío a Asia (movimiento 4), con el fin de iniciar un nuevo ciclo.
- Patrón B es también una operación de reposicionamiento vacío. La diferencia es que el contenedor vacío se almacena en un depósito de contenedores vacíos, antes de ser enviado de vuelta a la terminal portuaria, para ser cargados en un buque para su reposicionamiento.
- Patrones C y D se conocen como operaciones de "match back", sin reposicionamiento vacío, donde una exportación coincide con una importación, evitando así la necesidad del reposicionamiento del contenedor vacío. La diferencia entre C y D es el lugar donde el contenedor se almacena antes de ser reutilizado en una operación de exportación (terminal portuaria para C, y un depósito para contenedores vacíos para D).
- Patrón E es una operación “match back” especial donde el contenedor, una vez descargado en las instalaciones de un importador (consignatario), será trasladado directamente a la instalación de un cargador (exportador) para ser cargado de nuevo. Esta operación, conocida como "Street-turn", es la opción más interesante para las grandes compañías de transporte marítimo de contenedores, ya que supone menos movimientos y esto, en la mayoría de los casos, significarán menores costes. Sin embargo, y como se ha dicho anteriormente, es difícil llevar a cabo, ya que necesita un importante nivel de coordinación. Por ello no se contemplará en el modelo.

En resumen, el alcance del modelo propuesto será el de los movimientos descritos en los patrones A, B, C y D.

### 4.3.3. Hipótesis consideradas

Las siguientes hipótesis se tienen en cuenta en la formulación del modelo:

1. Se consideran distintos tipos de contenedores.
2. En cada período de tiempo el número de contenedores vacíos de cada tipo generados en un consignatario/importador o llegando a cualquier terminal de otros puertos se conoce.
3. En cada período de tiempo, el número de contenedores vacíos de cada tipo requerido por los cargadores y en las terminales para la exportación a otros puertos se conoce.
4. Se asume que los contenedores vacíos son entregados a los cargadores en el período de tiempo en el que se requieren.
5. Los costes de transporte de contenedores vacíos son lineales.

6. Las capacidades de enlaces de transporte son ilimitadas
7. Los contenedores vacíos sólo se pueden almacenar en depósitos o terminales, pero no dentro de las instalaciones de los importadores o de los cargadores.
8. Los depósitos y las terminales tienen una capacidad limitada para almacenar contenedores vacíos. Además, tienen una cantidad mínima de contenedores vacíos de cada tipo almacenados en cada depósito, es decir, una especie de stock de seguridad se puede imponer.
9. Los contenedores vacíos están siempre listos para su uso, es decir, no requieren de reparaciones u otras operaciones de mantenimiento.

#### 4.3.4. Parámetros

##### Índices

$c=1,2,\dots, C$	Importadores ( <i>Consignees</i> ).
$s=1, 2, \dots, S$	Cargadores ( <i>Shippers</i> ).
$d=1,2, \dots, D$	Depósitos ( <i>Depots</i> ).
$j=1,2,\dots, J$	Terminales ( <i>Terminals</i> ).
$t=1,2,\dots, T$	Períodos de tiempo ( $t=0$ situación de partida).
$r=1,2,\dots,R$	Tipos de contenedores ( <i>Container types</i> ).

##### Datos - Demanda

$L_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ a suministrar a cargador $s$ en período $t$ .
$U_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ a retirar de importador $c$ en período $t$ .
$M_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ desembarcados en terminal $j$ en período $t$ .
$O_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ a embarcar en terminal $j$ en período $t$ .

##### Datos - Capacidad de Almacenamiento

$I_{jr}^{max}$	Máximo inventario de contenedores tipo $r$ permitido en terminal $j$ .
$\hat{I}_{dr}^{max}$	Máximo inventario de contenedores tipo $r$ permitido en depósito $d$ .
$\hat{I}_{dr}^{min}$	Mínimo inventario de contenedores tipo $r$ permitido en depósito $d$ .

##### Datos - Costes de Almacenamiento

$h_{jr}$	Coste unitario de almacenamiento de contenedores tipo $r$ en terminal $j$ .
$\hat{h}_{dr}$	Coste unitario de almacenamiento de contenedores tipo $r$ en depósito $d$ .

##### Datos de Costes de Transporte

$\alpha_{cjr}$	Coste unitario de transporte de contenedores tipo $r$ entre importador $c$ y terminal $j$ .
$\beta_{cdr}$	Ídem entre importador $c$ y depósito $d$ .
$\gamma_{jsr}$	Ídem entre terminal $j$ y cargador $s$ .
$\delta_{dsr}$	Ídem entre depósito $d$ y cargador $s$ .

- $\varepsilon_{jjr}$  Ídem entre terminales j y j'.  
 $\varphi_{ddr}$  Ídem entre depósitos d y d'.  
 $\mu_{jdr}$  Ídem entre terminal j y depósito d.

#### Datos de Inventario Inicial

- $I_{jr}^0$  Inventario inicial de contenedores tipo r en terminal j.  
 $\hat{I}_{dr}^0$  Inventario inicial de contenedores tipo r en depósito d.

#### 4.3.5. Variables

Todas las variables son enteras.

- $x_{cjr}^t$  N° de contenedores tipo r vaciados por importador c en período t y que van a terminal j.  
 $z_{cdr}^t$  N° de contenedores tipo r vaciados por importador c en período t y que van a depósito d.  
 $y_{jsr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos enviados a cargador s en período t desde el terminal j.  
 $w_{dsr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos enviados a cargador s en período t desde el depósito d.  
 $v_{jjr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos enviados en período t desde el terminal j al j'.  
 $q_{ddr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos enviados en período t desde el depósito d al d'.  
 $p_{jdr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos enviados en período t desde el terminal j al depósito d.  
 $f_{djr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos enviados en período t desde el depósito d al terminal j.  
 $I_{jr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos en inventario en período t en terminal j.  
 $\hat{I}_{dr}^t$  N° de contenedores tipo r vacíos en inventario en período t en depósito d.

$$x_{cjr}^t, z_{cdr}^t, y_{jsr}^t, w_{dsr}^t, v_{jjr}^t, q_{ddr}^t, p_{jdr}^t, f_{djr}^t, I_{jr}^t, \hat{I}_{dr}^t \geq 0 \text{ y enteras}$$

#### 4.3.1. Modelo

$$\begin{aligned} & \sum_t \sum_r \sum_c \sum_j \alpha_{cjr} x_{cjr}^t + \sum_c \sum_d \beta_{cdr} z_{cdr}^t + \\ & \sum_t \sum_r \sum_j \sum_s \gamma_{jsr} y_{jsr}^t + \sum_d \sum_s \delta_{dsr} w_{dsr}^t + \\ & \sum_t \sum_r \sum_j h_{jr} I_{jr}^t + \sum_d \hat{h}_{dr} \hat{I}_{dr}^t \end{aligned}$$

#### 4.3.2. Restricciones

$$\sum_j x_{cjr}^t + z_{cdr}^t = U_{tsr} \quad \forall t \forall c \forall r \quad [1]$$

[1] Los contenedores descargados en operaciones de importación coinciden con los enviados desde importadores a depósitos y terminales.



$$\sum_j y_{jsr}^t + w_{dsr}^t = L_{tsr} \quad \forall t \forall s \forall r \quad [2]$$

[2] Los contenedores cargados en operaciones de exportación coinciden con los enviados desde depósitos y terminales a cargadores.

$$I_{jr}^t \leq I_{jr}^{max} \quad \forall t \forall j \forall r \quad [3]$$

[3] El stock de contenedores en las terminales de contenedores no debe superar el máximo establecido para cada tipo de contenedor y terminal.

$$\hat{I}_{dr}^{min} \leq \hat{I}_{dr}^t \leq \hat{I}_{dr}^{max} \quad \forall t \forall d \forall r \quad [4]$$

[4] El stock de contenedores en los depósitos de contenedores no debe superar el máximo establecido para cada tipo de contenedor y depósito, y debe ser superior a los mínimos establecidos.

$$I_{jr}^t = I_{jr}^{t-1} + M_{tsr} - O_{tsr} - \sum_s y_{jsr}^t - \sum_d p_{jdr}^t - \sum_{j'} v_{jj'r}^t \quad \forall t \forall j \forall r \quad [5]$$

$$+ \sum_c x_{cjr}^t + \sum_d f_{djr}^t + \sum_{j'} v_{j'jr}^t$$

[5] Restricción de actualización de inventario o stock de contenedores en terminales de contenedores por tipo de contenedor.

$$\hat{I}_{dr}^t = \hat{I}_{dr}^{t-1} - \sum_s w_{dsr}^t - \sum_j f_{djr}^t - \sum_{d'} q_{dd'r}^t + \sum_c z_{cdr}^t \quad \forall t \forall d \forall r \quad [6]$$

$$+ \sum_c p_{cdr}^t + \sum_{d'} q_{d'dr}^t$$

[6] Restricción de actualización de inventario o stock de contenedores en depósitos de contenedores por tipo de contenedor.

### 4.3.3. Datos del modelo

La Fundación ValenciaPort proporcionó los datos que se utilizaron para el desarrollo del modelo estudiado. A partir de los mismos se escogió un subconjunto relevante (véase Anexo X) para experimentar con el modelo. Los siguientes parámetros fueron considerados:

- 10 Importadores/*Consignees*.
- 6 Cargadores/*Shippers*.
- 3 Depósitos/*Depots*.
- 1 Terminales/*Terminals*.
- 5 Periodos de tiempo (días).
- 2 Tipos de contenedores.

El modelo fue resuelto en fracciones de segundo de manera óptima. En el próximo apartado se analiza los resultados obtenidos.

Antes de continuar, es importante remarcar que para la resolución del modelo se ha procedido a modelizar el mismo en lenguaje AMPL (Robert Fourer, David M. Gay, and Brian W. Kernighan, 2002).

En el Anexo 1 se presenta el modelo sin antigüedad en lenguaje AMPL. En el Anexo 2 se muestran los datos del modelo sin antigüedad y en el Anexo 3 el comando *expand* de la experimentación realizada. El comando *expand* expone objetivos seleccionados y las restricciones que AMPL ha generado desde un modelo y datos o información análoga para resolver el modelo y dar valor a las variables.

#### 4.4 Análisis de los resultados

Aunque el nº de variables es bastante elevado, el problema es un modelo de flujo en red con restricciones adicionales que se pueden resolver como programación lineal (LP). La resolución del modelo proporciona información sobre:

- Desde dónde servir cada demanda de contenedores vacíos bien de cargadores bien de barcos.
- A dónde llevar los contenedores vacíos tras cada descarga de importadores.
- El nivel de inventario en cada período para cada nivel de antigüedad en cada depósito y terminal.

Para resolver el modelo desarrollado en el lenguaje algebraico AMPL, se utiliza como entorno de desarrollo el AMPL IDE versión 0.4.2 beta y como *solver* se utilizó la versión de investigación de IBM-ILOG CPLEX 12.5, que es una de las últimas disponibles en el momento de escribir este trabajo. El *solver*, comúnmente denominado como CPLEX, es uno de los más potentes del mercado, según los estudios de Hans Mittelmann (2014).

El problema fue resuelto en fracciones de segundo con un ordenador portátil, lo que supone que su aplicación podría estar al alcance de una empresa sin requerir de infraestructuras caras. A pesar de ello, es importante recordar que la muestra se redujo, de forma que el modelo resuelto bajo estas características posee datos refinados o simplificados.

La solución que muestra el programa es la siguiente:

**Figura 13: Salida del solver modelo sin antigüedad**

```

ampl: model MODELVP.mod;

ampl: data DATAred.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 12.5.0.0: IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Commercial
Edition

optimal integer solution; objective 30781.28
    
```

*Fuente: Elaboración propia*

Puesto que el objetivo de esta herramienta es asignar el número de contenedores que han de ser trasladados entre los distintos agentes, el resultado del modelo, que representa el coste total para el periodo utilizado, no puede justificar por sí solo si el modelo es útil.

Por ello, en primer lugar se debe comprobar las soluciones que el modelo da a las variables de movimiento de contenedor vacío entre depósitos y terminales (MDT,MTD,MDD,MTT).

En el caso de los movimientos entre terminales (MTT) y entre depósitos (MDD), todas las soluciones aconsejan no realizar movimientos entre los mismos. Esto es lógico ya que el objetivo es minimizar los costes de transporte totales, y estos se incrementarían en caso de haber movimientos entre los agentes, que son en un principio innecesarios a no ser que los límites de almacenamiento fueran excedidos o no se pudieran cumplir.

**Tabla 5: Resultado variables MTT modelo sin antigüedad**

Terminal (j)	Terminal (j)	Tipo de Contenedor (r )	Periodo (p)	Cantidad óptima
TCV	TCV	20GP	1	0
TCV	TCV	20GP	2	0
TCV	TCV	20GP	3	0
TCV	TCV	20GP	4	0
TCV	TCV	20GP	5	0
TCV	TCV	40GP	1	0
TCV	TCV	40GP	2	0
TCV	TCV	40GP	3	0
TCV	TCV	40GP	4	0
TCV	TCV	40GP	5	0

**Tabla 6: Resultado variables MDD modelo sin antigüedad**

<b>MDD [BBV,*,20GP,*] (tr)</b>			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

<b>MDD [BBV,*,40GP,*] (tr)</b>			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

<b>MDD [REV,*,20GP,*] (tr)</b>			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

<b>MDD [REV,*,40GP,*] (tr)</b>			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

MDD [TBS,*,20GP,*] (tr)			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

MDD [TBS,*,40GP,*] (tr)			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

En cuanto a los movimientos de contenedores vacíos entre terminales y depósitos (variables MTD y MDT), los resultados también son de no realizar movimientos, aunque en este caso aparecen tres datos anómalos en el primer periodo en los movimientos de terminal a depósitos REV y TBS.

**Tabla 7: Resultado variables MTD modelo sin antigüedad**

MTD [TCV,*,20GP,*] (tr)			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	28	2
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

MTD [TCV,*,40GP,*] (tr)			
	Deposito (d)		
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	0	8	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

**Tabla8: Resultado variables MDT modelo sin antigüedad**

<b>MDT [TCV,*,20GP,*] (tr)</b>			
	Deposito (d)		
<b>Periodo (p)</b>	BBV	REV	TBS
<b>1</b>	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0
<b>3</b>	0	0	0
<b>4</b>	0	0	0
<b>5</b>	0	0	0

<b>MDT [TCV,*,40GP,*] (tr)</b>			
	Deposito (d)		
<b>Periodo (p)</b>	BBV	REV	TBS
<b>1</b>	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0
<b>3</b>	0	0	0
<b>4</b>	0	0	0
<b>5</b>	0	0	0

Con respecto a las variables UT y UD, la primera representa el número de contenedores provistos por los importadores en un periodo de tiempo determinado y localizados en una terminal, esta está directamente relacionada con el parámetro  $tcct$ , que representa el coste de transporte entre importador y terminal. En el caso de la segunda, ésta representa el número de contenedores provistos por los importadores en un periodo de tiempo determinado y localizados en un depósito. Ésta está relacionada con el  $tcdd$ , que es el coste de transporte entre receptor y depósito. Si vemos los costes adjudicados al transporte entre los distintos importadores y la terminal o depósitos, estos son idénticos ya que se establecen por kilometraje y la mayoría de agentes usan la misma fijación de precios, a excepción del depósito REV que tiene un precio ligeramente mayor. Por ello la variable UD no presenta ningún valor tanto para los contenedores 20GP como 40GP en movimientos entre los importadores y la terminal REV, ya que sólo se recurrirá a esta en caso de ser necesario.

**Tabla 9: Resultado variables UT modelo sin antigüedad**

[* ,TCV,20GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

[* ,TCV,40GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	1	1	1
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	1	0
ONTENIENTE	0	0	1	2	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

**Tabla 10: Resultado variables UD modelo sin antigüedad**

[* ,BBV,20GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	2	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	5
ELCHE	0	1	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	1	0	0	0
PATERNA	0	2	0	5	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

[* ,BBV,40GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

[* ,REV,20GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

[* ,REV,40GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0



[* ,TBS,20GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	2
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	1	0	1	1	0
JAEN	0	0	1	0	0
MADRID	0	0	0	1	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	5	0	3
SEVILLA	1	0	0	0	0
VALENCIA	1	0	0	2	1
VITORIA	0	0	0	0	0

[* ,TBS,40GP,*]					
Importadores (c )	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	1
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

En cuanto a la variable LT, que hace referencia al número de contenedores suministrados a los cargadores (S) desde una terminal en un periodo determinado, y está relacionado con el coste tcts. La variable LD, por el contrario, hace referencia al número de contenedores suministrados a los cargadores (S) desde un depósito. El parámetro tcds representa este coste. El modelo arroja movimientos solo para las terminales, y opta por no utilizar los depósitos.

**Tabla 11: Resultado variables LT modelo sin antigüedad**

[TCV,* ,20GP,*]					
Cargadores (S)	1	2	3	4	5
CACERES	0	1	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	1	0	0	7
VITORIA	0	0	0	0	0

[TCV,*,40GP,*]					
Cargadores (S)	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0

Tabla 12: Resultado variables LD modelo sin antigüedad

[BBV,*,20GP,*]					
Cargadores (S)	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

[BBV,*,40GP,*]					
Cargadores (S)	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

[REV,*,20GP,*]					
Cargadores (S)	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

<b>[REV,*,40GP,*]</b>					
<b>Cargadores (S)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>CACERES</b>	0	0	0	0	0
<b>CASTELLON</b>	0	0	0	0	0
<b>MADRID</b>	0	0	0	0	0
<b>SANJUANDEMORO</b>	0	0	0	0	0
<b>VALENCIA</b>	0	0	0	0	0
<b>VITORIA</b>	0	0	0	0	0

<b>[TBS,*,20GP,*]</b>					
<b>Cargadores (S)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>CACERES</b>	0	0	0	0	0
<b>CASTELLON</b>	0	0	0	0	0
<b>MADRID</b>	0	0	0	0	0
<b>SANJUANDEMORO</b>	0	0	0	0	0
<b>VALENCIA</b>	0	0	0	0	0
<b>VITORIA</b>	0	0	0	0	0

<b>[TBS,*,40GP,*]</b>					
<b>Cargadores (S)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>CACERES</b>	0	0	0	0	0
<b>CASTELLON</b>	0	0	0	0	0
<b>MADRID</b>	0	0	0	0	0
<b>SANJUANDEMORO</b>	0	0	0	0	0
<b>VALENCIA</b>	0	0	0	0	0
<b>VITORIA</b>	0	0	0	0	0

Finalmente, viendo las variables relativas al nivel de inventario RST y RSD, en terminal y depósito respectivamente y para cada periodo, éstas están relacionadas con los costes de almacenamiento scot y scod. En el modelo los costes son mucho más elevados para el coste de almacenamiento en la terminal que en el depósito. A pesar de ello, los resultados arrojados son más numerosos en el caso de las terminales debido a las combinaciones comentadas anteriormente, que realizaban más movimientos dentro de las mismas.

**Tabla 13: Resultado variables RST modelo sin antigüedad**

Terminal (j)			
TCV	20GP	1	0
TCV	20GP	2	48
TCV	20GP	3	48
TCV	20GP	4	43
TCV	20GP	5	36
TCV	40GP	1	12
TCV	40GP	2	12
TCV	40GP	3	14
TCV	40GP	4	0
TCV	40GP	5	0

**Tabla 14: Resultado variables RSD modelo sin antigüedad**

RSD [*,20GP,*] (tr)			
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	24	38	10
2	30	38	10
3	30	38	17
4	35	38	21
5	40	38	27

[*,40GP,*] (tr)			
Periodo (p)	BBV	REV	TBS
1	25	9	10
2	25	9	10
3	25	9	10
4	23	9	10
5	23	9	11

#### 4.4.1. Resumen del análisis

A modo de conclusión, se puede afirmar que el modelo permite dar solución al problema de asignación de contenedores vacíos para la minimización del coste total de los movimientos que se efectúan con los mismos. La solución óptima es lógica, ya que no hay contenedores enviados entre terminales y depósitos, lo cual supondría un coste adicional para estas dos formas de almacenamiento, siendo innecesarios. Solo en caso de sobrepasar los límites de almacenamiento, lo cual no sucede para los datos utilizados, podría surgir la necesidad de estos traslados.

## 4.5 Particularidades del modelo sin antigüedad

El modelo estudiado ha presentado varias incidencias a lo largo de la elaboración de este Trabajo Final de Carrera.

En primer lugar, la comprensión de la logística portuaria requiere un profundo estudio debido a que existen muchos agentes y otros factores que afectan a las operaciones con contenedores en el comercio exterior. Además, el modelo exige conocer los costes que influyen sobre estos movimientos, y está subordinado a diversas restricciones que juegan papeles fundamentales en la gestión del contenedor vacío.

Una vez comprendido el modelo, que minimiza los costes derivados de los movimientos con contenedores, se hace necesario plasmarlo en un lenguaje matemático que pueda procesar el software utilizado. En el caso de este estudio, el modelo se ha traducido a AMPL. Esto ha supuesto una dificultad añadida, ya que esta es la primera vez que trabajo con este lenguaje de modelización. El Manual AMPL (Robert Fourer, David M. Gay, and Brian W. Kernighan) (2003), ha sido de gran utilidad para poder llevar a cabo esta tarea.

Para comprobar que el modelo se había traducido correctamente al lenguaje AMPL, se resolvió en primer lugar con datos ficticios y se realizó un primer análisis de los resultados para comprobar si existía lógica entre los mismos. Sin embargo, fue al trabajar con datos proporcionados por la Fundación ValenciaPort cuando aparecieron dificultades.

La problemática más significativa encontrada en el estudio ha sido el traslado de datos reales al modelo. La Fundación Valencia Port, a lo largo de las distintas entrevistas, facilitó los datos que utilizaron para resolver el modelo. Puesto que el alcance del proyecto desarrollado por la entidad era amplio, existían una gran cantidad de datos, y el primer paso fue trasladarlos al modelo que había sido validado. Se notificaron duplicidades, errores ortográficos e incoherencias en los mismos que el programa informático no es capaz de detectar.

Más allá de los problemas surgidos con los errores descritos, no se ha podido validar el modelo con los datos facilitados por la Fundación ya que la solución era *"infeasible"*, es decir, no había una solución viable. Solo se ha podido resolver variando los parámetros como stock inicial, aumentando el stock máximo, reduciendo el stock mínimo y realizando otro tipo de cambios que permitiesen relajar las restricciones. No obstante, aunque de esta forma sí que se resolvió el modelo con los datos reales, las variaciones debieron ser desmesuradas para lograrlo.

Por ello, finalmente el modelo se redujo a la muestra descrita en el apartado 4.3.3 "Datos del modelo" y expuesta en el Anexo 2, de forma que pudiera ser comparable con el modelo ampliado en el siguiente capítulo.

Cabe remarcar la falta de documentación existente sobre los problemas derivados del manejo de información y datos en la investigación, ya que en muchas ocasiones los modelos quedan sin poder validarse debido a errores en los datos facilitados por las empresas.



## **CAPÍTULO 5**

---

### **AMPLIACIÓN DEL MODELO Y RESULTADOS**





## CAPITULO 5. AMPLIACIÓN DEL MODELO Y RESULTADOS

### 5.1 Introducción

Este capítulo es la continuación al modelo expuesto en el anterior, pero esta vez teniendo en cuenta la antigüedad en el coste de almacenamiento como aportación original del proyectando.

En esta ampliación se ha completado el modelo incluyendo la posibilidad de que el coste de almacenamiento unitario sea variable en función del número de periodos que el contenedor permanece en el depósito o terminal.

Esta ampliación permite acercar el modelo a la realidad, ya que los costes de almacenamiento no son realmente fijos, y únicamente requiere desdoblar todas las variables tanto de inventario como de flujo. Así pues, es una ampliación que mejora notablemente el modelo y está al alcance de los conocimientos adquiridos en la titulación.

En primer lugar se van a exponer los cambios en el modelo, para después describir los parámetros, variables, el modelo y las restricciones pero incluyendo la antigüedad. A continuación se verá la variación en las restricciones y los datos del ejemplo.

Finalmente se procede a realizar el análisis de los resultados y comentar las particularidades del modelo.

### 5.2 Modificaciones sobre el modelo

Las modificaciones sobre el modelo han consistido en completarlo incluyendo la posibilidad de que el coste de almacenamiento unitario sea variable en función del número de periodos que el contenedor permanece en el depósito o terminal. Este supuesto requiere desdoblar todas las variables tanto de inventario como de flujo.

La antigüedad afecta a los siguientes parámetros:

- Costes de almacenamiento
- Datos de inventario inicial

Conviene señalar que el modelo se ha formulado como en la primera parte, para los dos tipos de contenedores. Sin embargo, el problema podría resolverse de forma independiente para cada tipo de contenedor, reduciéndose así al menos en parte el tamaño del problema. La posibilidad de desglosar o partir los modelos en distintas partes es especialmente interesante cuando existen una gran cantidad de datos con los que trabajar, o muchas variables indexadas múltiples veces.

## 5.2.1. Parámetros

### Índices

$c= 1,2,\dots, C$	Importadores ( <i>Consignees</i> )
$s= 1, 2, \dots, S$	Cargadores ( <i>Shippers</i> )
$d= 1,2, \dots, D$	Depósitos ( <i>Depots</i> )
$j=1,2,\dots, J$	Terminales ( <i>Terminals</i> )
$t=1,2,\dots, T$	Períodos de tiempo ( $t=0$ situación de partida)
$r=1,2,\dots,R$	Tipos de contenedores ( <i>Container types</i> )
$a= 1,2,\dots,A$	Nº de periodos en inventario ( <i>Age</i> )

### Datos - Demanda

$L_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ a suministrar a cargador $s$ en período $t$ .
$U_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ a retirar de importador $c$ en período $t$ .
$M_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ desembarcados en terminal $j$ en período $t$ .
$O_{tsr}$	Nº de contenedores vacíos de tipo $r$ a embarcar en terminal $j$ en período $t$ .

### Datos - Capacidad de Almacenamiento

$I_{jr}^{\max}$	Máximo inventario de contenedores tipo $r$ permitido en terminal $j$ .
$\hat{I}_{dr}^{\max}$	Máximo inventario de contenedores tipo $r$ permitido en depósito $d$ .
$\hat{I}_{dr}^{\min}$	Mínimo inventario de contenedores tipo $r$ permitido en depósito $d$ .

### Datos - Costes de Almacenamiento

$h_{jra}$	Coste unitario de almacenamiento de contenedores tipo $r$ en terminal $j$ .
$\hat{h}_{dra}$	Coste unitario de almacenamiento de contenedores tipo $r$ en depósito $d$ .

### Datos - Costes de Transporte

$\alpha_{cjr}$	Coste unitario de transporte de contenedores tipo $r$ entre importador $c$ y terminal $j$ .
$\beta_{cdr}$	Ídem entre importador $c$ y depósito $d$ .
$\gamma_{jsr}$	Ídem entre terminal $j$ y cargador $s$ .
$\delta_{dsr}$	Ídem entre depósito $d$ y cargador $s$ .
$\varepsilon_{jj'r}$	Ídem entre terminales $j$ y $j'$ .
$\varphi_{dd'r}$	Ídem entre depósitos $d$ y $d'$ .
$\mu_{jdr}$	Ídem entre terminal $j$ y depósito $d$ .

### Datos de Inventario Inicial

$I_{jra}^0$	Inventario inicial de contenedores tipo $r$ en terminal $j$ .
$\hat{I}_{dra}^0$	Inventario inicial de contenedores tipo $r$ en depósito $d$ .

### 5.2.1. Variables

Todas las variables son enteras.

- $x_{cjr}^t$  Nº de contenedores tipo r vaciados por importador c en período t que van a terminal j.  
 $z_{cdr}^t$  Nº de contenedores tipo r vaciados por importador c en período t y que van a depósito d.  
 $y_{jsra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" enviados a cargador s en período t desde el terminal j.  
 $w_{dsra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" enviados a cargador s en período t desde el depósito d.  
 $v_{jjra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" enviados en período t desde el terminal j al j'.  
 $q_{ad'ra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" enviados en período t desde el depósito d al d'.  
 $p_{jdra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" enviados en período t desde el terminal j al depósito d.  
 $f_{djra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" enviados en período t desde el depósito d al terminal j.  
 $l_{jra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" en inventario en período t en terminal j.  
 $\hat{l}_{dra}^t$  Nº de contenedores tipo r vacíos con antigüedad "a" en inventario en período t en depósito d.  
 $g_{jra}^t$  Nº de contenedores de tipo r vacíos con antigüedad "a" en la terminal j embarcados en periodo t.

$$x_{cjr}^t, z_{cdr}^t, y_{jsra}^t, w_{dsra}^t, v_{jjra}^t, q_{ad'ra}^t, p_{jdra}^t, f_{djra}^t, l_{jra}^t, \hat{l}_{dra}^t, g_{jra}^t \geq 0 \text{ y enteras}$$

### 5.2.2. Modelo

$$\begin{aligned} & \sum_t \sum_r \sum_c \sum_j \alpha_{cjr} x_{cjr}^t + \sum_c \sum_d \beta_{cdr} z_{cdr}^t + \\ & \sum_t \sum_r \sum_j \sum_s \gamma_{jsr} y_{jsr}^t + \sum_d \sum_s \delta_{dsr} w_{dsr}^t + \\ & \sum_t \sum_r \sum_j \sum_a h_{jra} l_{jra}^t + \sum_d \sum_a \hat{h}_{dra} \hat{l}_{dra}^t \end{aligned}$$

### 5.2.3. Restricciones

$$\sum_j x_{cjr}^t + z_{cdr}^t = U_{tsr} \quad \forall t \forall c \forall r \quad [1]$$

[1] Los contenedores descargados en operaciones de importación coinciden con los enviados desde importadores a depósitos y terminales.

$$\sum_a y_{jsr}^t + \sum_a w_{dsr}^t = L_{tsr} \quad \forall t \forall s \forall r \quad [2]$$

[2] Los contenedores cargados en operaciones de exportación coinciden con los enviados desde depósitos y terminales a cargadores.

$$\sum_a g_{jra}^t = O_{tsr} \quad \forall t \forall j \forall r \quad [3]$$

[3] El número de contenedores a embarcar de un determinado tipo en una terminal en un determinado periodo coincide con la suma del número de contenedores embarcados de dicho tipo en dicho periodo de diferente antigüedad

$$\sum_a I_{jra}^t \leq I_{jr}^{max} \quad \forall t \forall j \forall r \quad [4]$$

[4] El stock de contenedores en las terminales de contenedores no debe superar el máximo establecido para cada tipo de contenedor y terminal

$$\hat{I}_{dr}^{min} \leq \sum_a \hat{I}_{dra}^t \leq \hat{I}_{dr}^{max} \quad \forall t \forall d \forall r \quad [4]$$

[5] El stock de contenedores en los depósitos de contenedores no debe superar el máximo establecido para cada tipo de contenedor y depósito, y debe ser superior a los mínimos establecidos

$$I_{jra}^t = I_{jr,a-1}^{t-1} - g_{jra}^t - \sum_s y_{jsr}^t - \sum_d p_{jdr}^t - \sum_{j'} v_{jj'r}^t \quad \begin{matrix} \forall t \forall j \forall r \\ \forall a \neq 1 \end{matrix} \quad [5]$$

$$I_{jr1}^t = R_{tjr} + \sum_c x_{cjr}^t + \sum_a f_{ajr}^t + \sum_{j'} v_{j'jr}^t \quad \forall t \forall j \forall r \quad [6]$$

$$\hat{I}_{dr}^t = \hat{I}_{dr,a-1}^{t-1} - \sum_s w_{dsr}^t - \sum_j f_{djr}^t - \sum_{d'} q_{dd'r}^t \quad \forall t \forall d \forall r \forall a \neq 1 \quad [7]$$

$$\hat{I}_{dr1}^t = \sum_c z_{cdr}^t + \sum_c p_{cdr}^t + \sum_{d'} q_{d'dr}^t \quad \forall t \forall d \forall r \quad [8]$$

[5], [6], [7], [8] Restricciones de actualización de inventario o stock de contenedores en terminales y depósitos de contenedores.

### 5.3 Datos del modelo

Al modelo estudiado en el capítulo 4 se le añade un nuevo conjunto de datos, la antigüedad:

- 6 Importadores/*Consignees*.
- 10 Cargadores/*Shippers*.
- 3 Depósitos/*Depots*.
- 1 Terminales/*Terminals*.
- 5 Periodos de tiempo (días).
- 2 Tipos de contenedores.
- 5 Periodos de antigüedad.

En el Anexo 4 se presenta el modelo con antigüedad en lenguaje AMPL y en el Anexo 5 se muestran los datos del modelo sin antigüedad. Esta vez no se adjunta el Anexo con el comando *expand* ya que al añadir el nuevo conjunto de datos de antigüedad las variables se desdoblan y el modelo resuelto con la función objetivo se extiende demasiado.

### 5.4 Análisis de los resultados

Para resolver el segundo modelo con antigüedad desarrollado también en el lenguaje algebraico AMPL, se utiliza de nuevo como entorno de desarrollo el "AMPL IDE versión 0.4.2 beta" y como *solver* se utilizó la versión de investigación de IBM-ILOG CPLEX 12.5.

El modelo fue nuevamente resuelto en fracciones de segundo de manera óptima con un ordenador portátil. Esto supone que haciendo el modelo más real incluyendo la antigüedad, sigue estando al alcance de una empresa. A pesar de ello, es importante recordar que la muestra sigue siendo reducida, y que el modelo con una base de datos extensa podría requerir de una plataforma más potente.

La solución que muestra el problema es la siguiente:

**Figura 14: Salida del solver modelo con antigüedad**

```

ampl: model MODELVPa.mod;
ampl: data DATAVParedsem.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 12.5.0.0: IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Commercial Edition
optimal integer solution within mipgap or absmipgap; objective 41495.56
1633 MIP simplex iterations
858 branch-and-bound nodes
absmipgap = 3.81631, relmipgap = 9.19692e-05
    
```

Fuente. Elaboración propia

El objetivo de este modelo sigue siendo el de asignar los movimientos de contenedores vacíos que han de ser realizados entre cada agente. El Coste Total ha aumentado con respecto al modelo sin antigüedad, que era de 30781,28. Esto se debe a que el número de restricciones ha aumentado, y esto provoca que con los datos prácticamente idénticos, a excepción de los que se han añadido de antigüedad, el coste total se incremente.

De hecho, al añadir la antigüedad los costes de almacenamiento se han modificado, como se puede ver en las siguientes tablas. En los depósitos de BBV y REV el primer periodo de antigüedad no hay coste de almacenamiento, lo que supone un menor coste. Sin embargo, aun así el coste total aumenta.

**Tabla 15: Costes de almacenamiento sin antigüedad**

param	scot:	20GP	40GP
TCV		20	40
param	scod:	20GP	40GP
BBV		5	10
REV		4	8
TBS		5	10

**Tabla16: Costes de almacenamiento con antigüedad**

param	scot					
[*,20GP,*]	:	1	2	3	4	5:=
TCV		20	20	20	20	20
[*,40GP,*]	:	1	2	3	4	5:=
TCV		40	40	40	40	40;

param	scod					
[*,20GP,*]	:	1	2	3	4	5:=
BBV		0	5	5	5	5
REV		0	4	4	4	4
TBS		5	5	5	5	5
[*,40GP,*]	:	1	2	3	4	5:=
BBV		0	10	10	10	10
REV		0	8	8	8	8
TBS		10	10	10	10	10

Siguiendo con el análisis del modelo ampliado, tenemos las tablas que muestran las soluciones asignadas a las variables de movimiento de contenedores vacíos entre depósitos y terminales (MDT, MTD, MDD, MTT).

En el caso de los movimientos entre terminales (MTT), no se realiza ninguno, como en el modelo sin antigüedad. Esto es lógico, ya que estos movimientos son en principio innecesarios.

**Tabla 17: Resultado variables MTT modelo con antigüedad**

MTT	[TCV,TCV,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
	[TCV,TCV,40GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

No obstante, en el caso de los movimientos entre depósitos (MDD), aparecen movimientos entre los mismos en distintos periodos de antigüedad, lo cual podría significar que se sobrepasar los límites de almacenamiento, y por ello surge la necesidad de estos traslados. Cabe remarcar que los movimientos se realizan dentro de los mismos depósitos, y nunca entre dos distintos, ya que supondría derrochar dinero el situar un contenedor en un depósito determinado y después decidir cambiarlo a otro depósito.

**Tabla 18: Resultado variables MDD modelo con antigüedad**

MDD	[BBV,BBV,20GP,*,*] ]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	132	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	63	31	14	0

	[BBV,BBV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	11	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	2	0	0	0

	[BBV,REV,20GP,*,*] ]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[BBV,REV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[BBV,TBS,20GP,*,*] ]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[BBV,TBS,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,BBV,20GP,*,*] ]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,BBV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,REV,20GP,*,*] ]				
:	1	2	3	4	5
1	0	46	23	12	0
2	102	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,REV,40G P,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	4	1	0
2	25	8	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0



	[REV,TBS,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,TBS,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,BBV,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,BBV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,REV,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,REV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,TBS,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	16	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,TBS,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	9	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

En cuanto a los movimientos de contenedores vacíos entre terminales y depósitos (variables MDT y MTD), los resultados muestran que no se recomienda realizar movimientos. La reflexión es similar a la razón de no trasladar contenedores vacíos de un depósito a otro. Una vez depositado el contenedor vacío en una terminal o un depósito, supone un coste adicional relocalizarlos en otro depósito o terminal, respectivamente.

**Tabla19: Resultado variables MTD modelo con antigüedad**

MTD	[TCV,BBV,20 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TCV,BBV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TCV,REV,20 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
	[TCV,TBS,20 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TCV,REV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
	[TCV,TBS,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

**Tabla 20: Resultado variables MDT modelo con antigüedad**

MDT	[BBV,TCV,20 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[BBV,TCV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,TCV,20 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[REV,TCV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,TCV,20 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

	[TBS,TCV,40 GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

Con respecto a las variables UT y UD, la primera representa el número de contenedores provistos por los importadores en un periodo de tiempo determinado y localizados en una terminal, que está relacionada con el parámetro tcct, que representa el coste de transporte entre importador y terminal. Por su parte, la variable UD representa el número de contenedores provistos por los importadores en un periodo de tiempo determinado y localizados en un depósito. Ésta está relacionada con el tcdd, que es el coste de transporte entre receptor y depósito. Como dijimos en el análisis de los resultados del modelo sin antigüedad, los costes adjudicados al transporte entre los distintos importadores y la terminal o depósitos, estos son idénticos ya que se establecen por kilometraje y la mayoría de agentes usan la misma fijación de precios, a excepción del depósito REV que tiene un precio ligeramente mayor (10 uds). A pesar de ello, y al contrario que en el modelo anterior, en contadas ocasiones sí que se muestran valores para el depósito REV.

**Tabla 21: Resultado variables UT modelo con antigüedad**

UT	[* ,TCV,20GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[* ,TCV,40 GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

Tabla 22: Resultado variables UD modelo con antigüedad

UD	[* ,BBV,20GP, *]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	2	0	0	2
CASTELLON	0	0	0	0	5
ELCHE	0	0	1	1	0
JAEN	0	0	1	0	0
MADRID	0	0	0	1	0
ONTENIENTE	0	1	0	0	0
PATERNA	0	2	4	5	3
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	2	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[* ,BBV,40 GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	1	0	1
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	1	0
ONTENIENTE	0	0	1	1	0
PATERNA	0	0	0	0	1
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[* ,REV,20GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	1	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	1	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0

	[* ,REV,40 GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	1	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	1	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[* ,TBS,20GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	1	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	1	0	0	0	0
VALENCIA	1	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[* ,TBS,40 GP,*]				
:	1	2	3	4	5
CARTAGENA	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
ELCHE	0	0	0	0	0
JAEN	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
ONTENIENTE	0	0	0	0	0
PATERNA	0	0	0	0	0
SEVILLA	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

La variable LT hace referencia al número de contenedores suministrados a los cargadores desde una terminal en un periodo determinado y de una antigüedad determinada. Está relacionado con el coste tcts. La variable LD, por el contrario, hace referencia al número de contenedores suministrados a los cargadores desde un depósito y de una antigüedad determinada. El parámetro tcds representa este coste. El modelo arroja movimientos solo para los depósitos, y no para las terminales, al contrario que en el modelo sin antigüedad.

**Tabla 23: Resultado variables LT modelo con antigüedad**

LT	[TCV,*,20GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,20GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,20GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,20GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,20GP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,40GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,40GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,40GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,40GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TCV,*,40GP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

Tabla 24: Resultado variables LD modelo con antigüedad

LD	[BBV,*,20GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	7
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,20GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	1	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	7
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,20GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,20GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	2
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,20G P,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	7
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,40 GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,40G P,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,40 GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,40GP ,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[BBV,*,4 OGP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,20G P,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,20 GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,20GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	7
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,20GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	5
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,20GP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,40GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,40GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,40GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,40GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0

	[REV,*,40GP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	1
VITORIA	0	0	0	0	0



	[TBS,*,20GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	1	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	1	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,20GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	1	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,20GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	1	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	1	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,20GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	1	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	1	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,20GP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	1	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	1	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,40GP,1,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,40GP,2,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,40GP,3,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,40GP,4,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

	[TBS,*,40GP,5,*]				
:	1	2	3	4	5
CACERES	0	0	0	0	0
CASTELLON	0	0	0	0	0
MADRID	0	0	0	0	0
SANJUANDEMORO	0	0	0	0	0
VALENCIA	0	0	0	0	0
VITORIA	0	0	0	0	0

Para finalizar el análisis, tenemos las variables relativas al nivel de inventario *RST* y *RSD*, en terminal y depósito respectivamente y para cada periodo, éstas están relacionadas con los costes de almacenamiento *scot* y *scod*, que son los que se han visto modificados al ampliar el modelo y añadir la antigüedad. En el modelo los costes son mucho más elevados para el coste de almacenamiento en la terminal que en el depósito. Además, incluyendo la antigüedad, solo los depósitos de *BBV* y *REV*, ofrecen el primer periodo de antigüedad a coste 0.

Por ello, además de los contenedores inventariados en terminal, que ahorran movimientos, los dos depósitos más utilizados para almacenar contenedores son *BBV* y *REV*.

**Tabla 25: Resultado variables RST modelo con antigüedad**

RST	[TCV,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	50	0	20	0
2	0	0	50	0	20
3	0	0	0	25	0
4	0	0	0	0	25
5	0	0	0	0	0

	[TCV,40GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

**Tabla 26: Resultado variables RSD modelo con antigüedad**

RSD	[BBV,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	132	68	37	23	10
2	109	68	37	23	0
3	95	45	37	23	0
4	64	31	14	23	0
5	0	0	0	0	0

	[BBV,40GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	11	2	2	2	2
2	2	9	2	2	0
3	2	0	9	2	0
4	2	0	0	9	0
5	0	0	0	0	7

	[REV,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	102	47	24	12	1
2	81	56	24	12	0
3	69	35	33	12	0
4	46	23	12	21	0
5	0	0	0	0	9

	[REV,40GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	25	8	4	3	0
2	13	17	4	3	0
3	12	5	13	3	0
4	8	4	1	12	0
5	0	0	0	0	9

	[TBS,20GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	19	0	0	0	0
2	9	10	0	0	0
3	9	0	10	0	0
4	9	0	0	10	0
5	0	0	0	0	10

	[TBS,40GP,*,*]				
:	1	2	3	4	5
1	9	0	0	0	0
2	0	9	0	0	0
3	0	0	9	0	0
4	0	0	0	9	0
5	0	0	0	0	9

### 5.4.1. Resumen del análisis

Como conclusión al análisis de los resultados del modelo incluyendo antigüedad, podemos comprobar que la principal ventaja de este segundo modelo es que lo acercamos más a la realidad de la logística del contenedor. Sobre todo en lo que respecta al coste de almacenamiento de los contenedores. Los depósitos suelen dejar el primer día a coste 0 y aplican su tarifa de almacenamiento a partir del segundo. Esto les hace más competitivos frente al almacenamiento en las terminales.

También conviene recordar que los resultados muestran que no hay movimientos de contenedores entre terminales y depósitos, lo que supondría un coste adicional. Solo en casos particulares se ha dado este tipo de movimientos. Estos, como se ha dicho anteriormente, podrían ser resultado de sobrepasar límites de almacenamiento, causando la necesidad de ser trasladados.

## 5.5 Particularidades del modelo con antigüedad

En el primer modelo, en el apartado 4.5. Particularidades del modelo sin antigüedades, se han comentado algunas de las dificultades que se han encontrado a lo largo del estudio del comentado artículo.

La incorporación de la antigüedad en los costes de almacenamiento e inventario no es muy complicada. Supone declarar un nuevo conjunto de datos e indexar los parámetros que dependen de este. Los datos utilizados están sacados de los datos proporcionados por la Fundación Valenciaport, por lo que el análisis es válido para comprender a pequeña escala como funciona este problema de minimización de costes para la asignación de movimientos de contenedores.

En la ampliación del modelo, el manual AMPL (Robert Fourer, David M. Gay, and Brian W. Kernighan) (2003), ha vuelto a ser imprescindible para poder llevar a cabo el estudio y subsanar los pequeños fallos comunes a la hora de modelizar en lenguaje algebraico AMPL.

Aunque la incorporación de la antigüedad a los datos supone trasladar unos cuantos números al fichero de datos ya creado, cabe recordar que ha sido en los datos donde más complicaciones se han encontrado. La gestión de la información en las empresas es trascendental, sobre todo si es a partir de ellos sobre los que se tiene que poner esfuerzos para conseguir ventaja competitiva procedente de una minimización de costes. Es por ello que resulta curioso comprobar que existiendo la herramienta de apoyo para conseguir este objetivo dentro de una empresa, sean los datos los causantes de errores que hacen que estas medidas no se apliquen.

## **CAPÍTULO 6**

---

### **CONCLUSIONES**



## CAPITULO 6. CONCLUSIONES

El presente Trabajo Fin de Carrera ha cumplido con el objetivo de analizar el modelo de optimización de movimientos de contenedores vacíos, identificando diferentes materias y objetivos (optimizando los movimientos terrestres, el uso del contenedor, la capacidad, etc.), a la par de realizar un exhaustivo estudio sobre el comercio internacional marítimo y la logística del contenedor vacío.

Según el artículo que recoge el modelo estudiado, la aplicación del modelo por la Fundación ValenciaPort supuso unos resultados económicos en beneficios de hasta 2% sobre el total de costes a raíz de su implementación. En el caso particular que estudiaron para el artículo, el ahorro alcanzaba los €200 por movimiento. Esto se traduciría en un importante ahorro en costes.

Otra ventaja significativa de utilizar un Sistema de Apoyo para la Decisión (DSS) como el modelo estudiado, es que las decisiones en la gestión de contenedores estarían menos basadas en la experiencia personal del personal que trabaja en este sector. Esto provee de una mayor flexibilidad al agente marítimo y reduce la dependencia en una persona específica.

Es importante señalar que el sistema debe servir como herramienta para las decisiones operativas tomadas diariamente por el agente marítimo en su gestión de contenedores vacíos, con lo que se quedarán fuera del alcance decisiones estratégicas como la elección de las terminales y depósitos de contenedores con los que se trabaja, que serán inputs pre-fijados o datos de partida para el problema a resolver.

Si bien es cierto que se ha profundizado en el modelo estudiado, pudiendo comprobar su aplicabilidad, también lo es que a medida que se ha ido avanzando, se han encontrado problemas que han dificultado el trabajo, como lo son los datos provistos por la Fundación ValenciaPort y el lenguaje a utilizar para poder resolver el modelo.

Tanto el tema tratado, la logística del contenedor vacío, como el modelo estudiado pueden dar paso a interesantes futuras líneas de investigación para implantar mejoras en el sistema. Entre otras, las que se plantearon con la Fundación ValenciaPort en una de las reuniones de colaboración fueron:

- Desarrollar un algoritmo a partir de datos históricos, que sirva de regla para no tener que estar utilizando el modelo en cada operación. Una vez sacado el algoritmo se comprobaría con distintos juegos de datos, comparando el algoritmo con el óptimo de la función objetivo.
- Incorporar temas de incertidumbre dentro del modelo.
- Ampliar el modelo a la parte de los buques, y estudiar lo que supondría que las distintas navieras compartieran contenedores dentro de un sistema logístico global.

Todas estas opciones de mejora no se han podido llevar a cabo debido a la limitación de tiempo y la necesidad de ampliar conocimientos sobre estadística e investigación operativa. No obstante, dejan un foco abierto para futuras investigaciones





## **CAPÍTULO 7**

---

### **BIBLIOGRAFÍA**



## CAPITULO 7. BIBLIOGRAFÍA

### Artículos

- Artículo de GALINDO MARTÍN, MIGUEL ÁNGEL. (2011) Crecimiento Económico *Revista Ice Tendencias y nuevos desarrollos de la teoría económica* [[www.revistasice.com/CachePDF/ICE\\_858\\_39-6\\_8C514DA83EDE4E6BB9EA8213B6E44EBE.pdf](http://www.revistasice.com/CachePDF/ICE_858_39-6_8C514DA83EDE4E6BB9EA8213B6E44EBE.pdf)]
- Artículo MITTELMANN, HANS (2014) profesor en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Estadística de la Universidad del Estado de Arizona ,Benchmark of parallel LP solvers [(<http://plato.la.asu.edu/>)] Pág. 51.
- Artículo de SALVADOR FURIÓ, CARLOS ANDRÉS, BELARMINO ADENSO-DÍAZ, SEBASTIÁN LOZANO,(2013) Optimization of empty container movements using street-turns: application to Valencia hinterland. *Revista Computers & Industrial Engineering* Volume 66, Issue 4, December 2013. Pág 27 y 41.
- Artículo CASSELMAN, ANNE (2008) Will the Opening of the Northwest Passage Transform Global Shipping Anytime Soon? *Revista científica "Science American"* [<http://www.scientificamerican.com/article/opening-of-northwest-passage/>] Pág.10.

### Documentación Jornadas e Informes

- Documentación sobre la 1ª Convención hemisférica sobre logística y competitividad portuaria, GARCÍA, J." Innovación y competitividad en puertos europeos: Experiencia en el puerto de Valencia"(2010) ValenciaPort
- Documentación Jornadas Bienvenidos a ValenciaPort, (2012) ValenciaPort Pág. 40 y 41
- Informe del FMI (2014) FMI. Perspectivas de la economía mundial: transiciones y tensiones [<https://www.imf.org/external/spanish/pubs/ft/weo/2013/02/pdf/texts.pdf>]
- Documentación sobre Jornadas Inversas-Balcanes, GUERRA, M. (2011) ValenciaPort
- Informe de EUROPEAN COMMISSION Los puertos marítimos de Europa en el horizonte de 2030: retos futuros MEMO/13/448 (23/05/2013) [[http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-448\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-448_es.htm)] Fecha consulta 11/03/2014.
- Documentación sobre el "Plan Estratégico Rumbo 2020 "(2011) ValenciaPort. Pág 33 y 38-40

### Documentación Web

- Documento web MINISTERIO DE FORMENTO.- PUERTOS DEL ESTADO "Gestión de Mercancías (nivel 1)"  
[http://www.bilbaoport.es/wNS/docs/es/inicio/autoridad/perfil\\_contratante/manuales\\_ formacion/Gesti%C3%B3n%20de%20mercancias.pdf](http://www.bilbaoport.es/wNS/docs/es/inicio/autoridad/perfil_contratante/manuales_ formacion/Gesti%C3%B3n%20de%20mercancias.pdf)
- Documento web de EL ECONOMISTA.ES (2014) "El tráfico de ValenciaPort supera los 15,4 millones de toneladas en el primer trimestre del año" [<http://ecodiario.economista.es/espana/noticias/5729043/04/14/El-traffic-de-ValenciaPort-supera-los-154-millones-de-toneladas-en-el-primer-trimestre-del-ano.html>] Fecha consulta 24/04/2014

- Documento Web: PÉREZ VENTURA, JUAN (2012) “El transporte marítimo” [http://elordenmundial.com/regiones/asia-pacifico/el-transporte-maritimo] Pág. 9
- Documento Web EUROPEAN COMMISSION (2014) “European ports: an engine for growth” [http://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/infographics\_en.htm]
- Documento Web PUERTOS DEL ESTADO. (2014) Estadísticas 2014/3 “Mercancías en Contenedores” [http://www.puertos.es/estadisticas/estadistica\_mensual/index.html ] Pág 15
- Documento Web ICEX (2014) “FMI. 'Perspectivas de la Economía Mundial” [http://www.icex.es/icex/cda/controller/pagelCEX/0,6558,5518394\_5519005\_6366453\_4732081,00.html ] Pág 11
- Documento web: Sinnexus Plan estratégico [http://www.sinnexus.com/business\_intelligence/plan\_estragico.aspx ]

### Libros

- Libro: SOLER GARCÍA, DAVID.(2008) *Diccionario de Logística*. Editorial Marge Books,
- Libro: ANAYA TEJERO, JULIO JUAN. (2009) *El transporte de mercancías. (Enfoque logístico de la distribución* (primera edición). Pozuelo de Alarcón (Madrid, España): ESIC Editorial.
- Libro: ROMERO SERRANO, ROSA. *El transporte marítimo. Introducción a la gestión del transporte marítimo* (2002) Editorial Marge Books.
- Libro: MIRA GALIANA, JAIME.(2001). *La gestión del transporte. Introducción a la cadena de transporte*. Barcelona (España). Editorial Marge Books.
- Libro: MONFORT Y AL (2011) *La terminal portuaria de contenedores como sistema nodal en la cadena logística*. Editorial Fundación ValenciaPort
- Libro: ROBERT FOURER, DAVID M. GAY, AND BRIAN W. KERNIGHAN. (2003) *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*. Duxbury Edition
- Libro: MONFORT Y AL (2011) *Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores*. Editorial Fundación ValenciaPort . ISBN: 978-84-938155-6-1.

### Normativa legal

- Convenio internacional sobre la seguridad de los contenedores (csc) publicado en el "Boletín Oficial del Estado" número 219 de 13 de septiembre de 1977
- Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.
- Ley 62/1997, de 26 de diciembre, de modificación de la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

### Publicaciones

- Publicación: ZAPICO, A Y GONZÁLEZ, P de la Universidad de Oviedo. *Estudio operacional de los depósitos de contenedores marítimos en España*
- Publicación: NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY del Gobierno de los EEUU “*World Port Index*”. 18th edition. NGA Publications. Maryland, 2005.

## **CAPÍTULO 8**

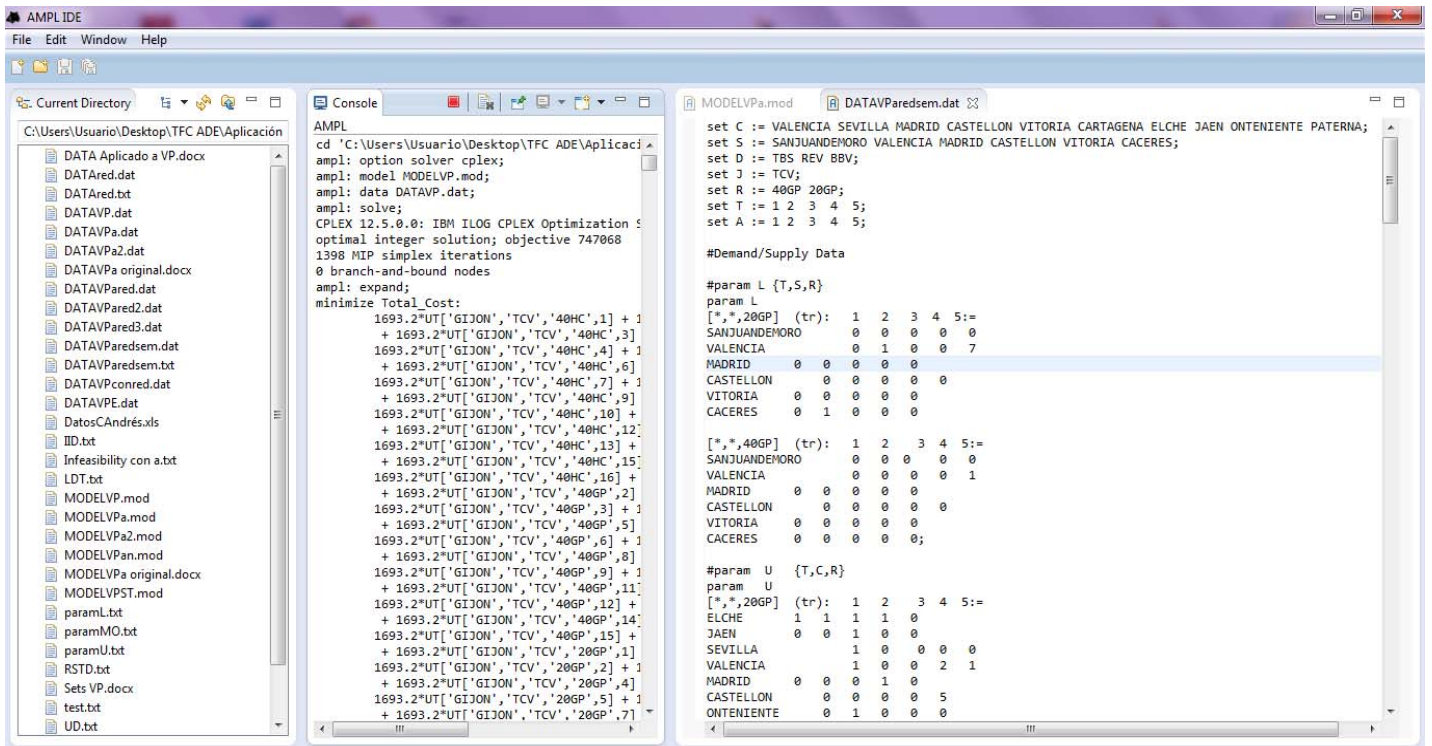
---

**ANEXOS**



## CAPITULO 8. ANEXOS

### 8.1 Anexo 1: Captura de pantalla del programa AMPL IDE



## 8.2 Anexo 2. Modelo reducido (sin antigüedad) en lenguaje de modelización AMPL

### #SETS:

set C; #Consignees  
 set S; #Shippers  
 set D; #Empty Container Depots  
 set J; #Port Terminal  
 set R; #Container types  
 set T ordered; #Time

### #PARAMETERS:

#### #Demand / Supply Data

param L {T,S,R} >= 0; #Nº type r empty containers to provide to shipper s at time period t  
 param U {T,C,R} >= 0; #Nº type r empty containers supplied by consignee c at time period t  
 param M {T,J,R} >= 0; #Nº type r empty containers imported at terminal j at time period t  
 param O {T,J,R} >= 0; #Nº type r empty containers exported at terminal j at time period t

#### #Storage Capacity Data

param scat\_max {J,R} >= 0; #Upper limit of type r container stock ad j terminal  
 param scad\_max {D,R} >= 0; #Upper limit of type r container stock at d depot  
 param scad\_min {D,R} >= 0; #Lower limit of type r empty container tock at d depot

#### #Storage Costs Data

param scot {J,R} >= 0; #Unit storage cost of type r empty container at j terminal  
 param scod {D,R} >= 0; #Unit storage cost of type r empty container at d depot

#### #Transport Cost Data

param tcct {C,J,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from consignee c to terminal j  
 param tccd {C,D,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from consignee c to depot d  
 param tcts {J,S,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from terminal j to shipper s  
 param tcds {D,S,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from depot d to shipper s  
 param tcjt {J,J,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from terminal j to terminal j  
 param tcdd {D,D,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from depot d to depot d  
 param tctd {J,D,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from terminal j to depot d

#### #Initial Inventories Data

param st0 {J,R} >= 0; #Initial type r container stock at terminal j – declared on subject to  
 param sd0 {D,R} >= 0; #Initial type r container stock at depot d – declared on subject to



**#VARIABLES**

var UT {C,J,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers supplied by consignee c at time period t and allocated to terminal j

var UD {C,D,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers supplied by consignee c at time period t and allocated to depot d

var LT {J,S,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers provided to shipper s from terminal j at time period t

var LD {D,S,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers provided to shipper s from depot d at time period t

var MTT {J,J,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers moved from terminal to terminal

var MDD {D,D,R,T} integer >=0;

#Nº type r containers moved from depot to depot

var MTD {J,D,R,T} integer >=0;

#Nº type r containers moved from terminal to depot

var MDT {D,J,R,T} integer >=0;

#Nº type r containers moved from depot to terminal

var RST {J,R,T} integer >= 0;

#Nº of type r empty containers stored at terminal j and time period t

var RSD {D,R,T} integer >= 0;

#Nº of type r empty containers stored at depot d and time period t

**#FO NO STREET-TURN**

minimize Total\_Cost:sum {t in T,r in R,c in C, j in J} tcct[c,j,r]\*UT[c,j,r,t] + sum {t in T,r in R,c in C,d in D} tccd[c,d,r]\*UD[c,d,r,t] + sum {t in T,r in R,j in J,s in S} tcts[j,s,r]\*LT[j,s,r,t] + sum {t in T,r in R,s in S,d in D} tcds[d,s,r]\*LD[d,s,r,t] + sum {t in T,r in R,j in J,j1 in J} tcct[j,j1,r]\*MTT[j,j1,r,t] + sum {t in T,r in R,j in J,d in D} tctd[j,d,r]\*MTD[j,d,r,t] + sum {t in T,r in R,d in D,j in J} tctd[j,d,r]\*MDT[d,j,r,t] + sum {t in T,r in R,d in D,d1 in D} tcdd[d,d1,r]\*MDD[d,d1,r,t] + sum {t in T,r in R,j in J} scot[j,r]\*RST[j,r,t] + sum {t in T,r in R,d in D} scod[d,r]\*RSD[d,r,t];

**#SUBJECT TO**

**#Import matches containers sent from consignees to D and J**

subject to Import\_DJ {t in T,c in C,r in R}:  $\sum\{j \text{ in } J\} UT [c,j,r,t] + \sum\{d \text{ in } D\} UD [c,d,r,t] = U [t,c,r];$

**#Containers provided from export match containers sent from D and J to shippers**

subject to Export\_DJ {t in T,s in S,r in R}:  $\sum\{j \text{ in } J\} LT [j,s,r,t] + \sum\{d \text{ in } D\} LD [d,s,r,t] = L [t,s,r];$

**#Empty container stock at terminal should be below the upper limit**

subject to Limit\_stock\_T {t in T,j in J,r in R}:  $RST [j,r,t] \leq \text{scat\_max} [j,r];$

**#Empty container stock at depot should be below between limit**

subject to Limit\_stock\_D {t in T,d in D,r in R}:  $\text{scad\_min} [d,r] \leq RSD [d,r,t] \leq \text{scad\_max} [d,r];$

**#Flow balance equations at J and D**

subject to FlowBalance\_T {j in J,r in R,t in T:  $\text{ord}(t) > 1$ }:  $RST [j,r,t] = RST [j,r,\text{prev}(t)] + M [t,j,r] - O [t,j,r] - \sum\{s \text{ in } S\} LT [j,s,r,t] - \sum\{d \text{ in } D\} MTD [j,d,r,t] - \sum\{j1 \text{ in } J\} MTT [j,j1,r,t] + \sum\{c \text{ in } C\} UT [c,j,r,t] + \sum\{d \text{ in } D\} MDT [d,j,r,t] + \sum\{j1 \text{ in } J\} MTT [j1,j,r,t];$

subject to FlowBalance\_D {d in D,r in R,t in T:  $\text{ord}(t) > 1$ }:  $RSD [d,r,t] = RSD [d,r,\text{prev}(t)] - \sum\{s \text{ in } S\} LD [d,s,r,t] - \sum\{j \text{ in } J\} MDT [d,j,r,t] - \sum\{d1 \text{ in } D\} MDD [d,d1,r,t] + \sum\{c \text{ in } C\} UD [c,d,r,t] + \sum\{j \text{ in } J\} MTD [j,d,r,t] + \sum\{d1 \text{ in } D\} MDD [d1,d,r,t];$

**#FlowBalance\_T0 and FlowBalance\_D0**

subject to FlowBalance\_T0 {j in J,r in R,t in T:  $\text{ord}(t) = 1$ }:  $RST [j,r,t] = \text{st0} [j,r] + M [t,j,r] - O [t,j,r] - \sum\{s \text{ in } S\} LT [j,s,r,t] - \sum\{d \text{ in } D\} MTD [j,d,r,t] - \sum\{j1 \text{ in } J\} MTT [j,j1,r,t] + \sum\{c \text{ in } C\} UT [c,j,r,t] + \sum\{d \text{ in } D\} MDT [d,j,r,t] + \sum\{j1 \text{ in } J\} MTT [j1,j,r,t];$

subject to FlowBalance\_D0 {d in D,r in R,t in T:  $\text{ord}(t) = 1$ }:  $RSD [d,r,t] = \text{sd0} [d,r] - \sum\{s \text{ in } S\} LD [d,s,r,t] - \sum\{j \text{ in } J\} MDT [d,j,r,t] - \sum\{d1 \text{ in } D\} MDD [d,d1,r,t] + \sum\{c \text{ in } C\} UD [c,d,r,t] + \sum\{j \text{ in } J\} MTD [j,d,r,t] + \sum\{d1 \text{ in } D\} MDD [d1,d,r,t];$

### 8.3 Anexo 3: Datos del modelo reducido (sin antigüedad)

set C := VALENCIA SEVILLA MADRID CASTELLON VITORIA CARTAGENA ELCHE ONTENIENTE  
PATERNA JAEN;

set S := SANJUANDEMORO VALENCIA MADRID CASTELLON VITORIA CACERES;

set D := TBS REV BBV;

set J := TCV;

set R := 40GP 20GP;

set T := 1 2 3 4 5;

param	L					
[*,*,20GP]	(tr):	1	2	3	4	5:=
SANJUANDEMORO		0	0	0	0	0
VALENCIA		0	1	0	0	7
MADRID		0	0	0	0	0
CASTELLON		0	0	0	0	0
VITORIA		0	0	0	0	0
CACERES		0	1	0	0	0

[*,*,40GP]	(tr):	1	2	3	4	5:=
SANJUANDEMORO		0	0	0	0	0
VALENCIA		0	0	0	0	1
MADRID		0	0	0	0	0
CASTELLON		0	0	0	0	0
VITORIA		0	0	0	0	0
CACERES		0	0	0	0	0;

param	U					
[*,*,20GP]	(tr):	1	2	3	4	5:=
ELCHE		1	1	1	1	0
JAEN		0	0	1	0	0
SEVILLA		1	0	0	0	0
VALENCIA		1	0	0	2	1
MADRID		0	0	0	1	0
CASTELLON		0	0	0	0	5
ONTENIENTE		0	1	0	0	0
PATERNA		0	2	5	5	3
VITORIA		0	0	0	0	0
CARTAGENA		0	2	0	0	2

[*,*,40GP] (tr)	:	1	2	3	4	5:=
ELCHE		0	0	1	1	1
JAEN		0	0	0	0	0
SEVILLA		0	0	0	0	0
VALENCIA		0	0	0	0	0
MADRID		0	0	0	1	0
CASTELLON		0	0	0	0	0
ONTENIENTE		0	0	1	2	0
PATERNA		0	0	0	0	1
VITORIA		0	0	0	0	0
CARTAGENA		0	0	0	0	0;

param	M	
[*,*,20GP]	:	TCV
		1 0
		2 50
		3 0
		4 20
		5 0

[*,*,40GP]	:	TCV
		1 0
		2 0
		3 0
		4 0
		5 0;

param	O	
[*,*,20GP]:	TCV	
		1 0
		2 0
		3 0
		4 25
		5 0
[*,*,40GP]:	TCV	
		1 0
		2 0
		3 0
		4 20
		5 0

#Initial Inventories Data

param	st0:	20GP	40GP
TCV		30	20;
param	sd0:	20GP	40GP
BBV		24	25
REV		10	1
TBS		5	10;

#Storage Capacity Data

param	scat_max:	20GP	40GP
TCV		50	100;
param	scad_min:	20GP	40GP
BBV		10	9
REV		10	9
TBS		10	9
param	scad_max:	20GP	40GP
BBV		400	200
REV		300	150
TBS		400	200

#Storage Cost Data

param	scot:	20GP	40GP
TCV		20	40
param	scod:	20GP	40GP
BBV		5	10
REV		4	8
TBS		5	10

#Transport Cost Data

param	tcct		
[*,*,*]	:	TCV	TCV
	:	20GP	40GP
ELCHE		430.44	430.44
JAEN		897.6	897.6
SEVILLA		1666.68	1666.68
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
ONTENIENTE		243	243
PATERNA		191	191
VITORIA		1270.92	1270.92
CARTAGENA		601.8	601.8;

param	tccd						
[*,*,*]	:	BBV	BBV	REV	REV	TBS	TBS
	:	20GP	40GP	20GP	40GP	20GP	40GP
ELCHE		430.44	430.44	440.44	440.44	430.44	430.44
JAEN		897.6	897.6	907.6	907.6	897.6	897.6
SEVILLA		1666.68	1666.68	1676.68	1676.68	1666.68	1666.68
VALENCIA		191	191	201	201	191	191
MADRID		724.2	724.2	734.2	734.2	724.2	724.2
CASTELLON		243	243	253	253	243	243
ONTENIENTE		243	243	253	253	243	243
PATERNA		191	191	201	201	191	191
VITORIA		1270.92	1270.92	1280.92	1280.92	1270.92	1270.92
CARTAGENA		601.8	601.8	611.8	611.8	601.8	601.8;

param	tcts		
[TCV,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		280	280
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
VITORIA		1270.92	1270.92
CACERES		1342.32	1342.32;

param	tcds		
[BBV,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		280	280
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
VITORIA		1270.92	1270.92
CACERES		1342.32	1342.32

[REV,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		290	290
VALENCIA		201	201
MADRID		734.2	734.2
CASTELLON		253	253
VITORIA		1280.92	1280.92
CACERES		1352.32	1352.32

[TBS,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		280	280
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
VITORIA		1270.92	1270.92
CACERES		1342.32	1342.32;

param	tctt		
[*,*,*]	:	TCV	
TCV	20GP	0	
TCV	40GP	0	

param	tcdd		
[BBV,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		0	0
REV		80	80
TBS		80	80
[REV,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		80	80
REV		0	0
TBS		80	80
[TBS,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		80	80
REV		80	80
TBS		0	0

param	tctd		
[TCV,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		80	80
REV		80	80
TBS		80	80;



## 8.4 Anexo 4. Modelo incluyendo antigüedad

### #SETS:

set C; #Consignees  
 set S; #Shippers  
 set D; #Empty Container Depots  
 set J; #Port Terminal  
 set R; #Container types  
 set T ordered; #Time  
 set A ordered; #Age

### #PARAMETERS:

#### #Demand / Supply Data

param L {T,S,R} >= 0; #Nº type r empty containers to provide to shipper s at time period t  
 param U {T,C,R} >= 0; #Nº type r empty containers supplied by consignee c at time period t  
 param M {T,J,R} >= 0; #Nº type r empty containers imported at terminal j at time period t  
 param O {T,J,R} >= 0; #Nº type r empty containers exported at terminal j at time period t

#### #Storage Capacity Data

param scat\_max {J,R} >= 0; #Upper limit of type r container stock at j terminal  
 param scad\_max {D,R} >= 0; #Upper limit of type r container stock at d depot  
 param scad\_min {D,R} >= 0; #Lower limit of type r empty container stock at d depot

#### #Storage Costs Data

param scot {J,R,A} >= 0; #Unit storage cost of type r empty container at j terminal with age a  
 param scod {D,R,A} >= 0; #Unit storage cost of type r empty container at d depot with age a

#### #Transport Cost Data

param tcct {C,J,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from consignee c to terminal j  
 param tccd {C,D,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from consignee c to depot d  
 param tcts {J,S,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from terminal j to shipper s  
 param tcds {D,S,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from depot d to shipper s  
 param tcjt {J,J,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from terminal j to terminal j  
 param tcdd {D,D,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from depot d to depot d  
 param tcjd {J,D,R} >= 0; #Unit transport cost of type r container from terminal j to depot d

#### #Initial Inventories Data

param st0 {J,R,A} >= 0; #Initial type r container stock at terminal j with age a— declared on subject to  
 param sd0 {D,R,A} >= 0; #Initial type r container stock at depot d with age a— declared on subject to

**#VARIABLES**

var UT {C,J,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers supplied by consignee c at time period t and allocated to terminal j

var UD {C,D,R,T} integer >= 0;

#Nº type r containers supplied by consignee c at time period t and allocated to depot d

var LT {J,S,R,A,T} integer >= 0;

#Nº type r containers with age a provided to shipper s from terminal j at time period t

var LD {D,S,R,A,T} integer >= 0;

#Nº type r containers with age a provided to shipper s from depot d at time period t

var MTT {J,J,R,A,T} integer >= 0;

#Nº type r containers with age a moved from terminal to terminal

var MDD {D,D,R,A,T} integer >=0;

#Nº type r containers with age a moved from depot to depot

var MTD {J,D,R,A,T} integer >=0;

#Nº type r containers with age a moved from terminal to depot

var MDT {D,J,R,A,T} integer >=0;

#Nº type r containers with age a moved from depot to terminal

var RST {J,R,A,T} integer >= 0;

#Nº of type r empty containers with age a stored at terminal j and time period t

var RSD {D,R,A,T} integer >= 0;

#Nº of type r empty containers with age a stored at depot d and time period t

var EO {J,R,A,T} integer >= 0;

#Nº of type r empty containers with age a in terminal t exported in period t.

**#FO NO STREET-TURN**

minimize Total\_Cost:sum {t in T,r in R,c in C, j in J} tcct[c,j,r]\*UT[c,j,r,t] + sum {t in T,r in R,c in C,d in D} tccd[c,d,r]\*UD[c,d,r,t] + sum {t in T,r in R,j in J,s in S,a in A} tcts[j,s,r]\*LT[j,s,r,a,t] + sum {t in T,r in R,s in S,d in D,a in A} tcds[d,s,r]\*LD[d,s,r,a,t] + sum {t in T,r in R,j in J,j1 in J,a in A} tctt[j,j1,r]\*MTT[j,j1,r,a,t] + sum {t in T,r in R,j in J,d in D,a in A} tctd[j,d,r]\*MTD[j,d,r,a,t] + sum {t in T,r in R,d in D,j in J,a in A} tctd[j,d,r]\*MDT[d,j,r,a,t] + sum {t in T,r in R,d in D,d1 in D,a in A} tcdd[d,d1,r]\*MDD[d,d1,r,a,t] + sum {t in T,r in R,j in J,a in A} scot[j,r,a]\*RST[j,r,a,t] + sum {t in T,r in R,d in D,a in A} scod[d,r,a]\*RSD[d,r,a,t];

**#SUBJECT TO**

**#1 Import matches containers sent from consignees to D and J**

subject to Import\_DJ {t in T,c in C,r in R}:  $\sum\{j \text{ in } J\} UT [c,j,r,t] + \sum\{d \text{ in } D\} UD [c,d,r,t] = U [t,c,r];$

**#2 Containers provided from export match containers sent from D and J to shippers**

subject to Export\_DJ {t in T,s in S,r in R,a in A}:  $\sum\{j \text{ in } J\} LT [j,s,r,a,t] + \sum\{d \text{ in } D\} LD [d,s,r,a,t] = L [t,s,r];$

**#3 Nº containers to export in terminal j in period t equals the sum of containers exported in age**

subject to Export\_TA {t in T,j in J,r in R}:  $\sum\{a \text{ in } A\} EO [j,r,a,t] = O [t,j,r];$

**#Empty container stock at terminal should be below the upper limit**

subject to Limit\_stock\_T {t in T,j in J,r in R}:  $\sum\{a1 \text{ in } A\} RST [j,r,a1,t] \leq scat\_max [j,r];$

**#Empty container stock at depot should be below between limit**

subject to Limit\_stock\_DMax {t in T,d in D,r in R}:  $\sum\{a1 \text{ in } A\} RSD [d,r,a1,t] \leq scad\_max [d,r];$

subject to Limit\_stock\_DMin {t in T,d in D,r in R}:  $scad\_min [d,r] \leq \sum\{a1 \text{ in } A\} RSD [d,r,a1,t];$

**#Flow balance equations at J**

**#a>1 y t>1**

subject to FlowBalance\_T {j in J,r in R,a in A,t in T: ord(a)>1 and ord(t)>1}:  $RST [j,r,a,t] = RST [j,r,prev(a),prev(t)] - EO [j,r,a,t] - \sum\{s \text{ in } S,a1 \text{ in } A\} LT [j,s,r,a1,t] - \sum\{d \text{ in } D,a2 \text{ in } A\} MTD [j,d,r,a2,t] - \sum\{j1 \text{ in } J,a3 \text{ in } A\} MTT [j,j1,r,a3,t];$

**#a=1**

subject to FlowBalance\_T2 {j in J,r in R,a in A,t in T: ord(a)=1}:  $RST [j,r,a,t] = M [t,j,r] + \sum\{c \text{ in } C\} UT [c,j,r,t] + \sum\{d \text{ in } D,a1 \text{ in } A\} MDT [d,j,r,a1,t] + \sum\{j1 \text{ in } J,a2 \text{ in } A\} MTT [j,j1,r,a2,t];$

**#Flow balance equations at D**

**#a>1 y t>1**

subject to FlowBalance\_D {d in D,r in R,a in A,t in T: ord(a)>1 and ord(t)>1}:  $RSD [d,r,a,t] = RSD [d,r,prev(a),prev(t)] - \sum\{s \text{ in } S,a1 \text{ in } A\} LD [d,s,r,a1,t] - \sum\{j \text{ in } J,a2 \text{ in } A\} MDT [d,j,r,a2,t] - \sum\{d1 \text{ in } D,a3 \text{ in } A\} MDD [d,d1,r,a3,t];$

**#a=1**

subject to FlowBalance\_D2 {d in D,r in R,a in A,t in T:ord(a)=1}:  $RSD [d,r,a,t] = \sum\{c \text{ in } C\} UD [c,d,r,t] + \sum\{j \text{ in } J,a1 \text{ in } A\} MTD [j,d,r,a1,t] + \sum\{d1 \text{ in } D,a2 \text{ in } A\} MDD[d,d1,r,a2,t];$

## 8.5 Anexo 5. Datos del modelo con antigüedad.

set C := VALENCIA SEVILLA MADRID CASTELLON VITORIA CARTAGENA ELCHE JAEN  
 ONTENIENTE PATERNA;  
 set S := SANJUANDEMORO VALENCIA MADRID CASTELLON VITORIA CACERES;  
 set D := TBS REV BBV;  
 set J := TCV;  
 set R := 40GP 20GP;  
 set T := 1 2 3 4 5;  
 set A := 1 2 3 4 5;

param	L					
[*,*,20GP] (tr):		1	2	3	4	5:=
SANJUANDEMORO		0	0	0	0	0
VALENCIA		0	1	0	0	7
MADRID		0	0	0	0	0
CASTELLON		0	0	0	0	0
VITORIA		0	0	0	0	0
CACERES		0	1	0	0	0

[*,*,40GP] (tr):		1	2	3	4	5:=
SANJUANDEMORO		0	0	0	0	0
VALENCIA		0	0	0	0	1
MADRID		0	0	0	0	0
CASTELLON		0	0	0	0	0
VITORIA		0	0	0	0	0
CACERES		0	0	0	0	0;

param	U					
[*,*,20GP] (tr):		1	2	3	4	5:=
ELCHE		1	1	1	1	0
JAEN		0	0	1	0	0
SEVILLA		1	0	0	0	0
VALENCIA		1	0	0	2	1
MADRID		0	0	0	1	0
CASTELLON		0	0	0	0	5
ONTENIENTE		0	1	0	0	0
PATERNA		0	2	5	5	3
VITORIA		0	0	0	0	0
CARTAGENA		0	2	0	0	2

[*,*,40GP] (tr)	:	1	2	3	4	5:=
ELCHE		0	0	1	1	1
JAEN		0	0	0	0	0
SEVILLA		0	0	0	0	0
VALENCIA		0	0	0	0	0
MADRID		0	0	0	1	0
CASTELLON		0	0	0	0	0
ONTENIENTE		0	0	1	2	0
PATERNA		0	0	0	0	1
VITORIA		0	0	0	0	0
CARTAGENA		0	0	0	0	0;

param	M	
[*,*,20GP]	:	TCV
		1 0
		2 50
		3 0
		4 20
		5 0

[*,*,40GP]	:	TCV
		1 0
		2 0
		3 0
		4 0
		5 0;

param	O	
[*,*,20GP]:	TCV	
		1 0
		2 0
		3 0
		4 25
		5 0
[*,*,40GP]:	TCV	
		1 0
		2 0
		3 0
		4 20
		5 0



BBV	0	5	5	5	5
REV	0	4	4	4	4
TBS	5	5	5	5	5
[*,40GP,*] :	1	2	3	4	5:=
BBV	0	10	10	10	10
REV	0	8	8	8	8
TBS	10	10	10	10	10

#Transport Cost Data

param	tcct		
[*,*,*]	:	TCV	TCV
	:	20GP	40GP
ELCHE		430.44	430.44
JAEN		897.6	897.6
SEVILLA		1666.68	1666.68
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
ONTENIENTE		243	243
PATERNA		191	191
VITORIA		1270.92	1270.92
CARTAGENA		601.8	601.8;

param	tccd						
[*,*,*]	:	BBV	BBV	REV	REV	TBS	TBS
	:	20GP	40GP	20GP	40GP	20GP	40GP
ELCHE		430.44	430.44	440.44	440.44	430.44	430.44
JAEN		897.6	897.6	907.6	907.6	897.6	897.6
SEVILLA		1666.68	1666.68	1676.68	1676.68	1666.68	1666.68
VALENCIA		191	191	201	201	191	191
MADRID		724.2	724.2	734.2	734.2	724.2	724.2
CASTELLON		243	243	253	253	243	243
ONTENIENTE		243	243	253	253	243	243
PATERNA		191	191	201	201	191	191
VITORIA		1270.92	1270.92	1280.92	1280.92	1270.92	1270.92
CARTAGENA		601.8	601.8	611.8	611.8	601.8	601.8;

param	tcts		
[TCV,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		280	280
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
VITORIA		1270.92	1270.92

CACERES	1342.32	1342.32;
---------	---------	----------

param	tcds		
[BBV,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		280	280
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
VITORIA		1270.92	1270.92
CACERES		1342.32	1342.32

[REV,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		290	290
VALENCIA		201	201
MADRID		734.2	734.2
CASTELLON		253	253
VITORIA		1280.92	1280.92
CACERES		1352.32	1352.32

[TBS,*,*]	:	20GP	40GP
SANJUANDEMORO		280	280
VALENCIA		191	191
MADRID		724.2	724.2
CASTELLON		243	243
VITORIA		1270.92	1270.92
CACERES		1342.32	1342.32;

param	tctt		
[*,*,*]	:	TCV	
TCV	20GP	0	
TCV	40GP	0	

param	tccd		
[BBV,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		0	0
REV		80	80
TBS		80	80
[REV,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		80	80
REV		0	0
TBS		80	80
[TBS,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		80	80



REV	80	80
TBS	0	0

param	tctd		
[TCV,*,*]	:	20GP	40GP
BBV		80	80
REV		80	80
TBS		80	80;