

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA E INFRAESTRUCTURA  
DE LOS TRANSPORTES

Tesis Doctoral



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**Diseño básico del layout de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas a través de la priorización de alternativas aplicando la teoría de decisión multicriteria (métodos AHP y ANP)**

Realizada por:

Francisco Enrique Santarremigia Rosaleny

Dirigida por:

Dr. José Aguilar Herrando

Valencia, Enero 2016





## **Agradecimientos**

Agradezco de forma especial a mi Director de tesis su apoyo y confianza en mi trabajo, así como sus aportaciones en el desarrollo de esta investigación.

Agradezco también la formación recibida por parte de todo el departamento de ingeniería del transporte de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPV (Universidad Politécnica de Valencia), que me han enseñado las bases de la investigación sin las cuales no hubiese podido abordar este trabajo.

De la misma manera, sería injusto no reconocer la ayuda recibida por parte del departamento de proyectos de ingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPV, que me han enseñado todo lo que sé sobre la teoría de decisión multicriteria, el método AHP (analytic hierarchic process) / ANP (analytic network process), y el software superdecisiones que me ha permitido aplicar esta teoría a mi investigación de forma sencilla y práctica.

Quiero agradecer también a todos los miembros del panel de expertos y en especial a mis compañeros de AITEC por su colaboración continuada en la búsqueda y análisis de la información necesaria para esta tesis doctoral.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. A mi mujer por todo su esfuerzo y enorme ayuda prestada en el desarrollo de este trabajo, a mis hijos pequeños que han respetado mis momentos de concentración, y a mis padres, hermana y demás familiares por sus ánimos y soporte.

Muchas gracias a todos ellos.



## RESUMEN

En una terminal de contenedores con mercancías peligrosas, los criterios operacionales, de seguridad y protección y los medioambientales suelen ser contrapuestos en un proceso de toma de decisión en relación con el diseño del layout. Sin embargo esta contraposición se debe únicamente a un análisis parcial en el que no se han considerado todos los criterios que pueden influir.

Si realmente consideramos todos los criterios que influyen en la toma de decisión, ese conflicto entre aspectos operacionales, seguridad y protección y medioambientales puede desaparecer.

Las decisiones sobre máquinas y el layout en una terminal interior con mercancías peligrosas deben considerar aspectos como la peligrosidad de las sustancias, la fiabilidad de los equipos, el tiempo de evacuación, etc... juntamente con otros criterios de carácter económico y operacional.

En esta investigación vamos a desarrollar un análisis holístico basado en la teoría de decisión multicriteria (AHP - Analytic hierarchic process /ANP – Analytic network process) para proveer a las personas que toman decisiones sobre el layout en una terminal interior con mercancías peligrosas de una metodología para diseñar el layout de forma más productiva, segura, medioambiental y eficiente.

Esta metodología va dirigida a gestionar adecuadamente el cambio en terminales interiores ya existentes o diseñar nuevas áreas de la terminal, así como a operadores logísticos que vean en las terminales interiores de contenedores una oportunidad de negocio.

Los resultados de aplicar esta metodología son soluciones eficientes tanto desde el punto de vista productivo y operacional, como desde el punto de vista de la seguridad y el medio ambiente. Entendemos que puede hacerse realidad con la tecnología actual y ese es el corazón de esta investigación. En cualquier caso, se seguirá un análisis de sensibilidad para evaluar el grado de influencia de los criterios medioambientales y seguridad en los resultados del proceso de toma de decisión.



## **ABSTRACT**

In an inland terminal of containers with dangerous goods, operational, safety & security and environmental criteria are usually in conflict in the decision making process of the layout's design. But this conflict can be only a result of a partial analysis where not all involved criteria are being considered.

If we really consider all criteria that should affect a decision perhaps the conflict between operational, safety & security and environmental aspects disappears.

Decisions about machines and the layout in an inland terminal with dangerous goods must consider aspects as hazards of products, reliability, evacuation time, etc... jointly with other economical and operational criteria.

Through this research, we are going to develop a holistic analysis based on the multicriteria theory (AHP - Analytic hierarchic process / ANP – Analytic network process) to provide terminals' decision makers with a methodology in order to design the layout of an inland terminal in a more productivity, safety, environment-friendly and efficient way.

This methodology is addressed to decision makers of existent inland terminals for the management of change or to design new parts of the business, and also to freight forwarding companies' decision makers that see inland terminals of containers as a strategic business.

Outputs of this methodology are optimal solutions not only from the point of view of productivity and operational efficiency, but also environment-friendly and safety terminals. We think that this principle can be fulfilled with actual technology and this is the core of this research. Other way, a sensitive analysis using the methodology will be followed up to analyze what is the influence of the environmental and safety criteria in the decision process outputs.

## RESUM

En una terminal de contenidors amb mercaderies perilloses, els criteris operacionals, de seguretat i protecció i els mediambientals solen ser contraposats en un procés de presa de decisió en relació amb el disseny del layout. No obstant aquesta contraposició es deu únicament a un anàlisi parcial en el qual no s'han considerat tots els criteris que poden influir.

Si realment considerem tots els criteris que influeixen en la presa de decisió, aquest conflicte entre aspectes operacionals, seguretat i protecció i mediambientals pot desaparèixer.

Les decisions sobre màquines i el layout en una terminal interior amb mercaderies perilloses han de considerar aspectes com la perillositat de les substàncies, la fiabilitat dels equips, el temps d'evacuació, etc., juntament amb altres criteris de caràcter econòmic i operacional.

En aquesta investigació desenvoluparem un anàlisi holístic basat en la teoria de decisió multicriteria (AHP - Analytic hierarchic process / ANP – Analytic network process) per proveir a les persones que prenen decisions sobre el layout en una terminal interior amb mercaderies perilloses d'una metodologia per dissenyar el layout de forma més productiva segura, mediambiental i eficient

Aquesta metodologia va dirigida a gestionar adequadament el canvi en terminals interiors ja existents o dissenyar noves àrees de la terminal, així com a operadors logístics que vegin en les terminals interiors de contenidors una oportunitat de negoci.

Els resultats d'aplicar aquesta metodologia son solucions eficients tant des del punt de vista productiu i operacional, com des del punt de vista de la seguretat i el mediambient. Entenem que pot fer-se realitat amb la tecnologia actual i aquest és el cor d'aquesta investigació. En qualsevol cas, es seguirà una anàlisi de sensibilitat per avaluar el grau d'influència dels criteris mediambientals i seguretat en els resultats del procés de presa de decisió.



# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA TESIS.....</b>	<b>21</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	23
1.2 ANTECEDENTES .....	26
1.3 MODELOS DE DECISIÓN MULTICRITERIA AHP Y ANP.....	31
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	35
1.5 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TESIS.....	36
1.6 CONCLUSIONES .....	39
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>41</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	43
2.2 ANÁLISIS.....	45
2.3 CONCLUSIONES .....	51
<b>CAPÍTULO 3. TERMINALES INTERIORES DE CONTENEDORES .....</b>	<b>53</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	55
3.2 EJEMPLOS DE TERMINALES INTERIORES DE CONTENEDORES.....	58
3.2.1 <i>En el mundo</i> .....	58
3.2.1.1 América del norte.....	58
3.2.1.2 Asia.....	59
3.2.1.3 América central y del sur.....	60
3.2.2 <i>En Europa</i> .....	61
3.2.3 <i>En España</i> .....	62
3.2.3.1 Puerto seco de Azuqueca de Henares (Castilla la Mancha).....	63
3.2.3.2 Puerto seco de Coslada (Madrid) .....	64
3.2.3.3 Puerto seco de Zaragoza (terminal marítima interior de Zaragoza-Aragón).....	66
3.2.3.4 Otras terminales interiores de menor dimensión .....	68
3.3 SERVICIOS SUSCEPTIBLES DE SER PRESTADOS POR UNA TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES.....	69
3.3.1 <i>Antepuerto</i> .....	69
3.3.2 <i>Servicio de estiba y desestiba</i> .....	71
3.3.3 <i>Servicio de almacenamiento temporal</i> .....	72
3.3.4 <i>Servicio de almacenamiento permanente</i> .....	73
3.3.5 <i>Servicio de “depot” de contenedores vacíos</i> .....	73
3.3.6 <i>Servicio de alquiler y venta de contenedores</i> .....	74
3.3.7 <i>Terminal de Ferrocarril</i> .....	74
3.3.8 <i>Parque de bomberos propio</i> .....	77
3.3.9 <i>Servicio de vigilancia 24 horas</i> .....	77

3.3.10 Consolidación y desconsolidación de contenedores .....	79
3.3.11 Suministro de energía para contenedores refrigerados .....	80
3.3.12 Cámaras frigoríficas .....	81
3.3.13 Limpieza y lavado de contenedores.....	82
3.3.14 Depuradora de aguas y gestión de residuos .....	83
3.3.15 Mantenimiento y reparación de contenedores .....	83
3.3.16 Mantenimiento y reparación del parque de maquinaria .....	85
3.3.17 Taller mecánico de camiones y remolques .....	85
3.3.18 Operaciones en depósito aduanero .....	85
3.3.19 Áreas de inspección .....	86
3.3.20 Servicio médico .....	87
3.3.21 Aulas de formación .....	87
3.3.22 Dormitorios para conductores.....	88
3.3.23 Otros servicios .....	88
3.4 MÁQUINAS Y EQUIPOS DE MANIPULACIÓN DE CONTENEDORES SUSCEPTIBLES DE SER UTILIZADOS EN UNA TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES .....	90
3.4.1 Carretilla pórtico o “Straddle carrier” .....	92
3.4.2 Carretilla.....	95
3.4.3 “ReachStaker” o carretilla con brazo telescópico.....	97
3.4.4 Plataformas.....	100
3.4.5 Grua pórtico móvil sobre neumáticos (RTG – Rubber Tyred Gantry Crane) .....	102
3.4.6 Grua pórtico móvil sobre railes (RMG – Rail Mounted Gantry Crane) .....	104
3.4.7 Máquinas y Equipos automáticos .....	105
3.5 LAYOUTS EN UNA TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES EN FUNCIÓN DE LAS MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS .....	106
3.5.1 Layout en terminales con Straddle Carriers .....	107
3.5.2 Layout en terminales con carretillas .....	109
3.5.3 Layout en terminales con Reach Stackers .....	110
3.5.4 Layout en terminales con plataformas.....	112
3.5.5 Layout en terminales con grúas pórtico (RTGs y RMGs).....	113
<b>CAPÍTULO 4. REQUISITOS LEGALES Y BUENAS PRACTICAS APLICABLES A UNA TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES .....</b>	<b>115</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	117
4.2 REQUISITOS LEGALES Y BUENAS PRÁCTICAS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD EN LA MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS PELIGROSAS.....	118
4.2.1 Clasificación de las mercancías peligrosas.....	118
4.2.1.1 Clase 1: Materiales y objetos explosivos .....	121
4.2.1.2 Clase 2: Gases.....	122

4.2.1.3 Clase 3: Líquidos inflamables .....	123
4.2.1.4 Clase 4.1: Materia sólidas inflamables .....	123
4.2.1.5 Clase 4.2: Materia que pueden experimentar inflamación espontánea .....	124
4.2.1.6 Clase 4.3: Materia que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.....	124
4.2.1.7 Clase 5.1: Materias comburentes .....	125
4.2.1.8 Clase 5.2: Peróxidos Orgánicos.....	125
4.2.1.9 Clase 6.1: Materias tóxicas .....	126
4.2.1.10 Clase 6.1: Materias infecciosas.....	127
4.2.1.11 Clase 7: Materias radioactivas.....	127
4.2.1.12 Clase 8: Materias corrosivas .....	128
4.2.1.13 Clase 9: Materias y objetos que presentan peligros diversos.....	128
4.2.2 <i>Requisitos de segregación</i> .....	129
4.2.2.1 La segregación en áreas portuarias en España.....	129
4.2.2.2 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en España .	136
4.2.2.3 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en el Reino Unido (UK).....	138
4.2.2.4 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en Alemania .....	140
4.2.2.5 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en Bélgica .	142
4.2.3 <i>Requisitos de formación</i> .....	143
4.3 REQUISITOS LEGALES Y BUENAS PRÁCTICAS RELACIONADOS CON LA PROTECCIÓN.....	147
4.4 REQUISITOS LEGALES Y BUENAS PRÁCTICAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE .....	149
4.4.1 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con los residuos</i> .....	150
4.4.2 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con las aguas residuales y los vertidos</i> .....	159
4.4.3 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con la atmósfera y el ruido</i> .....	162
4.4.4 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con los suelos contaminados</i> .....	167
4.4.5 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con el impacto ambiental</i> .....	168
4.4.6 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con el territorio, urbanismo y la edificación</i> .....	169
4.4.7 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con el paisaje</i> .....	172
4.4.8 <i>Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con otros instrumentos legislativos</i> .....	173
4.4.9 <i>Normas de estandarización industrial aplicable no reglamentarias</i> .....	174
4.5 PLAN DIRECTOR DE UNA TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES CON MERCANCÍAS PELIGROSAS EN EL	

ÁMBITO DE LA SEGURIDAD, PROTECCIÓN Y MEDIO AMBIENTE .....	177
4.5.1 Evaluaciones SQAS del CEFIC.....	177
4.5.2 Programa BBS .....	178
4.5.3 Programa “Responsible Care” .....	179
4.5.4 Pacto de ayuda mutua .....	182
4.5.5 Principales guías para terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas .....	183

**CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE LA TEORIA DE DECISION MULTICRITERIA (MÉTODOS AHP Y ANP) .....187**

5.1 INTRODUCCIÓN .....	189
5.2 PANEL DE EXPERTOS .....	191
5.3 CRITERIOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE TOMA DE DECISIÓN .....	196
5.3.1 Criterios relacionados con las máquinas y equipos.....	198
5.3.2 Criterios relacionados con la seguridad y la protección .....	204
5.3.3 Criterios relacionados con el medio ambiente .....	207
5.4 ALTERNATIVAS DE LAYOUT A JERARQUIZAR.....	216
5.5 ENCUESTAS AL PANEL DE EXPERTOS.....	218
5.6 RELACIÓN ENTRE LOS CRITERIOS DE MAQUINARIA Y EQUIPOS .....	222
5.7 RELACIÓN ENTRE LOS CRITERIOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN.....	227
5.8 RELACIÓN ENTRE LOS CRITERIOS DE MEDIOAMBIENTE.....	228
5.9 RELACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS Y LOS CRITERIOS DE MÁQUINAS Y EQUIPOS .....	233
5.9.1 Criterios económicos (C1).....	233
5.9.2 Criterios de rendimiento (C2) .....	236
5.9.3 Criterios de capacidad (C3) .....	241
5.9.4 Criterios de expansión (C4).....	244
5.9.5 Criterios de funcionalidad (C5).....	246
5.10 RELACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS Y LOS CRITERIOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN.....	248
5.11 RELACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS Y LOS CRITERIOS DE MEDIOAMBIENTE .....	255
5.11.1 Criterios de ubicación (C7).....	255
5.11.2 Criterios de diseño (C8) .....	260
5.11.3 Criterios de gestión (C9) .....	265
5.11.4 Criterios de construcción (C10).....	270
5.11.5 Criterios de emergencia (C11).....	274
5.12 RESULTADO .....	278
5.12.1 Peso global de las alternativas.....	278
5.12.2 Peso global de los criterios .....	280
5.13 CONCLUSIONES .....	284

<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....</b>	<b>289</b>
6.1 SENSIBILIDAD DEL MODELO FRENTE A LOS CRITERIOS DE PRIMER NIVEL.....	291
6.1.1 Sensibilidad frente al conjunto de criterios de máquinas y equipos.....	291
6.1.2 Sensibilidad frente al conjunto de criterios de seguridad y protección .....	292
6.1.3 Sensibilidad frente al conjunto de criterios de medio ambiente .....	293
6.2 SENSIBILIDAD DEL MODELO FRENTE A LOS CRITERIOS MÁS INFLUYENTES .....	294
6.2.1 Sensibilidad del modelo frente al criterio C63 (Distancia al núcleo urbano) ....	294
6.2.2 Sensibilidad del modelo frente al criterio C12 (Costes del suelo) .....	295
6.2.3 Sensibilidad del modelo frente al criterio C71 (Disponibilidad de suelo industrial)	
.....	296
6.2.4 Sensibilidad del modelo frente al criterio C61 (Peligrosidad de las mercancías)	
.....	297
6.2.5 Sensibilidad del modelo frente al criterio C65 (Tiempo de evacuación).....	298
6.2.6 Sensibilidad del modelo frente al criterio C62 (Cantidad de sustancias	
peligrosas).....	299
6.2.7 Sensibilidad del modelo frente al criterio C24 (Tasa de inactividad).....	300
6.2.8 Sensibilidad del modelo frente al criterio C102 (Consumo de agua durante la	
construcción de la terminal).....	301
6.2.9 Sensibilidad del modelo frente al criterio C11 (Costes de automatización).....	302
6.2.10 Sensibilidad del modelo frente al criterio C72 (Inundabilidad con aguas	
contaminadas) .....	303
6.2.11 Sensibilidad del modelo frente al criterio C83 (Protección de las aguas	
subterráneas) .....	304
6.2.12 Sensibilidad del modelo frente al criterio C14 (Costes de mantenimiento) ....	305
6.2.13 Sensibilidad del modelo frente al criterio C73 (Recursos hídricos cercanos) ..	306
6.2.14 Sensibilidad del modelo frente al criterio C66 (Densidad de población cercana a	
la terminal).....	307
6.2.15 Sensibilidad del modelo frente al criterio C41 (Posibilidad de expansión de la	
terminal).....	308
6.2.16 Sensibilidad del modelo frente al criterio C52 (Facilidad de uso).....	309
6.2.17 Sensibilidad del modelo frente al criterio C53 (Adaptabilidad a cambio de	
escenario).....	310
6.2.18 Sensibilidad del modelo frente al criterio C81 (Eficiencia energética – consumo	
de combustible).....	311
6.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	312
6.3.1 Sensibilidad en relación con los bloques de criterios de primer nivel.....	312
6.3.1.1 Sensibilidad mostrada por la alternativa A1-Straddle Carrier .....	312
6.3.1.2 Sensibilidad mostrada por la alternativa A2-carretilla .....	313

6.3.1.3 Sensibilidad mostrada por la alternativa A3-Reach Stacker .....	314
6.3.1.4 Sensibilidad mostrada por la alternativa A4-Plataforma .....	315
6.3.1.5 Sensibilidad mostrada por la alternativa A5-Grúa pórtico .....	315
6.3.2 <i>Sensibilidad en relación con los bloques de criterios de segundo nivel</i> .....	316
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS .....</b>	<b>319</b>
<b>CAPÍTULO 8. REFERENCIAS.....</b>	<b>327</b>
<b>CAPÍTULO 9. ANEXOS.....</b>	<b>335</b>
9.1 ANEXO 1: PESOS DE CLUSTERS Y CRITERIOS (UNWEIGHTED AND WEIGHTED MATRIX) .....	337

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES INTERCONECTADA CON UNA TERMINAL PORTUARIA O FERROVIARIA .....	25
FIGURA 2 ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DEL LAYOUT PRESENTADO POR UNA STRADDLE CARRIER. ....	29
FIGURA 3 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE LA TESIS .....	38
FIGURA 4 PUERTO SECO DE GUADALAJARA. ....	63
FIGURA 5 PUERTO SECO DE COSLADA .....	65
FIGURA 6 PUERTO SECO DE ZARAGOZA .....	66
FIGURA 7 TERMINAL INTERMODAL EN DORTMUND, QUE CONEXIONA EL TRANSPORTE DE CONTENEDORES VÍA FLUVIAL-FERROCARRIL .....	76
FIGURA 8 TERMINAL INTERMODAL EN NEW YORK, QUE CONEXIONA EL TRANSPORTE DE CONTENEDORES VÍA CARRETERA – FERROCARRIL. ....	76
FIGURA 9 ROBOT DE VIGILANCIA EN TMS, EN EL PUERTO DE ALICANTE.....	78
FIGURA 10 CONTAINER FREIGHT STATION EN RIVER TRADE TERMINAL EN HONG KONG .....	79
FIGURA 11 SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA CONTENEDORES REFRIGERADOS Y SISTEMA DE MONITORIZACIÓN.....	80
FIGURA 12 MUELLES PARA CAMIONES REFRIGERADOS. FRIOPUERTO (VALENCIA).....	81
FIGURA 13 INSTALACIONES PARA ALMACENAMIENTO DE PALLETS. FRIOPUERTO (VALENCIA).....	81
FIGURA 14 LIMPIEZA DE UN CONTENEDOR. ....	82
FIGURA 15 MANTENIMIENTO DE CONTENEDORES. ....	84
FIGURA 16 MEDIDAS ESTANDARIZADAS DE CONTENEDORES.....	91
FIGURA 17 IMAGEN DE UN SHUTTLE CARRIER .....	93
FIGURA 18 COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS DE DOS STRADDLE CARRIERS DE LA EMPRESA NOELL MOBILE SYSTEMS GMBH. ....	94
FIGURA 19 CARRETILLA.....	95
FIGURA 20 REACH STAKER.....	97
FIGURA 21 REACH STAKER CON BRAZO TELESCÓPICO CURVO. ....	98
FIGURA 22 UNA REACH STACKER POSANDO UN CONTENEDOR SOBRE UNA PLATAFORMA.....	100
FIGURA 23 PATIO DE RTGS, NOATUM CONTAINER TERMINAL VALENCIA (VALENCIA - ESPAÑA) .....	103
FIGURA 24 IMAGEN DE UNA RAIL MOUNTED GANTRY CRANE (RMG) .....	104
FIGURA 25 RMGS AUTOMÁTICOS (ASCs), APM TERMINALS VIRGINIA (PORT OF VIRGINIA - EE.UU.)...	105
FIGURA 26 IMAGEN DE UN AGV (AUTOMATED GUIDED VEHICLE).....	105
FIGURA 27 DIMENSIONES DE UNA STRADDLE CARRIER .....	107
FIGURA 28 CONFIGURACIÓN DE LAYOUT UTILIZANDO STRADDLE CARRIERS.....	108
FIGURA 29 CONFIGURACIÓN DE LAYOUT UTILIZANDO CARRETILLAS .....	109
FIGURA 30 DIMENSIONES DE RADIOS DE GIRO DE REACHSTACKERS Y CARRETILLAS .....	111
FIGURA 31 CONFIGURACIÓN DE LAYOUT UTILIZANDO PLATAFORMAS .....	112

FIGURA 32 CONFIGURACIÓN DE LAYOUT UTILIZANDO GRÚAS PÓRTICO .....	113
FIGURA 33 DIMENSIONES DE UNA GRÚA PÓRTICO .....	114
FIGURA 34 ETIQUETAS PARA LA CLASE 1. EXPLOSIVOS .....	121
FIGURA 35 ETIQUETAS DE LA CLASE 2. GASES .....	122
FIGURA 36 ETIQUETA CLASE 3. LÍQUIDOS INFLAMABLES .....	123
FIGURA 37 ETIQUETA CLASE 4.1. SÓLIDOS INFLAMABLES .....	123
FIGURA 38 ETIQUETA DE LA CLASE 4.2. INFLAMACIÓN ESPONTÁNEA .....	124
FIGURA 39 ETIQUETA CLASE 4.3. INFLAMABLES EN CONTACTO CON EL AGUA .....	125
FIGURA 40 ETIQUETA CLASE 5.1. COMBURENTES .....	125
FIGURA 41 ETIQUETAS DE LA CLASE 5.2. PERÓXIDOS ORGÁNICOS .....	126
FIGURA 42 ETIQUETA DE LA CLASE 6.1. TÓXICOS .....	126
FIGURA 43 ETIQUETA DE LA CLASE 6.2. INFECCIOSOS .....	127
FIGURA 44 ETIQUETAS DE LA CLASE 7. RADIOACTIVOS .....	127
FIGURA 45 ETIQUETA DE LA CLASE 8. CORROSIVOS .....	128
FIGURA 46 ETIQUETA DE LA CLASE 9. PELIGROS DIVERSOS .....	128
FIGURA 47 FORMAS DE APILAR CONTENEDORES EN ÁREAS PORTUARIAS SEGÚN LA CLASE DE MERCANCÍA PELIGROSA .....	133
FIGURA 48 CONTENEDOR DE PRODUCTO CORROSIVO SOBRE PRODUCTO INFLAMABLE .....	134
FIGURA 49 TABLA DE SEGREGACIÓN POR CLASES PARA EL ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS EN UK .....	139
FIGURA 50 TABLA DE SEGREGACIÓN POR CLASES PARA EL ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS EN ALEMANIA .....	141
FIGURA 51 TABLA DE SEGREGACIÓN POR CLASES PARA EL ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS EN BÉLGICA .....	142
FIGURA 52 ESQUEMA SOBRE LA REPRESENTACIÓN JERARQUIZADA RESPECTO AL OBJETIVO O “GOAL” .....	196
FIGURA 53 ESQUEMA DEL MODELO PROPUESTO TOMADO DE UN PANTALLAZO DEL SOFTWARE “SUPERDECISION” .....	197
FIGURA 54 ESQUEMA EN “SUPERDECISION” DE LOS CRITERIOS INTERVINIENTES EN EL ÁREA DE MAQUINARIA Y EQUIPOS .....	198
FIGURA 55 ESQUEMA EN “SUPERDECISIONS” DE CRITERIOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN .....	204
FIGURA 56 ESQUEMA EN SUPERDECISIONS DE LOS CRITERIOS DE MEDIOAMBIENTE .....	207
FIGURA 57 ESQUEMA EN SUPERDECISIONS DE LOS CRITERIOS, LAS ALTERNATIVAS Y SUS RELACIONES .....	217
FIGURA 58 EJEMPLO DE MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LOS “CRITERIOS ECONÓMICOS” DE “MAQUINARIA Y EQUIPOS” .....	220
FIGURA 59 RELACIÓN DEL RESTO DE ALTERNATIVAS FRENTE A LA IDEAL .....	279
FIGURA 60 RELACIÓN DE CRITERIOS ORDENADOS DE MAYOR A MENOR .....	283
FIGURA 61 SENSIBILIDAD DEL MODELO AL VARIAR EL PESO DEL CONJUNTO DE CRITERIOS DE MÁQUINAS Y EQUIPOS .....	291



FIGURA 62 SENSIBILIDAD DEL MODELO AL VARIAR EL PESO DEL CONJUNTO DE CRITERIOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN.....	292
FIGURA 63 SENSIBILIDAD DEL MODELO AL VARIAR EL PESO DEL CONJUNTO DE CRITERIOS DE MEDIO AMBIENTE .....	293
FIGURA 64 SENSIBILIDAD FRENTE AL CRITERIO DE DISTANCIA AL NÚCLEO URBANO (C63) .....	294
FIGURA 65 SENSIBILIDAD FRENTE AL COSTE DEL SUELO (C12) .....	295
FIGURA 66 SENSIBILIDAD FRENTE A LA DISPONIBILIDAD DE SUELO INDUSTRIAL (C71).....	296
FIGURA 67 SENSIBILIDAD FRENTE A LA PELIGROSIDAD DE LA MERCANCÍA (C61).....	297
FIGURA 68 SENSIBILIDAD FRENTE AL TIEMPO DE EVACUACIÓN (C65) .....	298
FIGURA 69 SENSIBILIDAD FRENTE A LA CANTIDAD DE SUSTANCIAS PELIGROSAS (C62) .....	299
FIGURA 70 SENSIBILIDAD FRENTE AL CRITERIO TASA DE INACTIVIDAD (C24).....	300
FIGURA 71 SENSIBILIDAD FRENTE AL CONSUMO DE AGUA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN (C102) .....	301
FIGURA 72 SENSIBILIDAD FRENTE A LOS COSTES DE AUTOMATIZACIÓN (C11) .....	302
FIGURA 73 SENSIBILIDAD FRENTE A LA INUNDABILIDAD CON AGUAS CONTAMINADAS (C72).....	303
FIGURA 74 SENSIBILIDAD FRENTE A LA PROTECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (C83) .....	304
FIGURA 75 SENSIBILIDAD FRENTE A LOS COSTES DE MANTENIMIENTO (C14).....	305
FIGURA 76 SENSIBILIDAD FRENTE A LOS RECURSOS HÍDRICOS CERCANOS (C73) .....	306
FIGURA 77 SENSIBILIDAD FRENTE A LA DENSIDAD DE POBLACIÓN CERCANA (C66).....	307
FIGURA 78 SENSIBILIDAD FRENTE A LA POSIBILIDAD DE EXPANSIÓN DE LA TERMINAL (C41).....	308
FIGURA 79 SENSIBILIDAD FRENTE AL CRITERIO DE FACILIDAD DE USO (C52) .....	309
FIGURA 80 SENSIBILIDAD FRENTE A LA ADAPTABILIDAD DE CAMBIO DE ESCENARIO (C53) .....	310
FIGURA 81 SENSIBILIDAD FRENTE A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA (C81) .....	311

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VENTAS DE PRODUCTOS QUÍMICOS POR REGIONES EN EL MUNDO EN BILLONES DE EUROS Y EN PORCENTAJE DE BILLONES DE EUROS SOBRE EL TOTAL DURANTE EL AÑO 2013. ....	26
TABLA 2 NÚMERO Y PORCENTAJE DE PUBLICACIONES POR AÑO SOBRE “OPTIMIZING LAYOUT” .....	43
TABLA 3 ÁREAS PRINCIPALES DE LAS PUBLICACIONES SOBRE “OPTIMIZING LAYOUT” .....	44
TABLA 4 RELACIÓN DE TERMINALES INTERIORES DE CONTENEDORES CON MERCANCÍAS PELIGROSAS EN ESPAÑA DE MENOR DIMENSIÓN.....	68
TABLA 5 TOTAL DE MERCANCÍAS PELIGROSAS TRANSPORTADA POR TREN (EN TONELADAS) DESDE LOS AÑOS 2008 A 2014 EN ESPAÑA. ....	75
TABLA 6 FABRICANTES RELEVANTES DE STRADDLE CARRIERS.....	92
TABLA 7 FABRICANTES RELEVANTES DE CARRETILLAS.....	96
TABLA 8 FABRICANTES RELEVANTES DE REACH STAKERS .....	99
TABLA 9 CLASIFICACIÓN DE MERCANCÍAS PELIGROSAS PARA EL TRANSPORTE .....	120
TABLA 10 CUADRO DE SEGREGACIÓN DE CONTENEDORES POR CLASES EN ÁREAS PORTUARIAS .....	132
TABLA 11 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA DE RESIDUOS .....	158
TABLA 12 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES Y VERTIDOS .....	161
TABLA 13 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA DE ATMÓSFERA Y RUIDO.....	166
TABLA 14 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA DE SUELOS CONTAMINADOS.....	167
TABLA 15 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL .....	168
TABLA 16 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA URBANÍSTICA .....	171
TABLA 17 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN MATERIA DE PAISAJE .....	173
TABLA 18 OTRA LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL APLICABLE.....	173
TABLA 19 NORMATIVA INDUSTRIAL APLICABLE DE CARÁCTER NO REGLAMENTARIO .....	176
TABLA 20 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS EN EL ÁMBITO DE LA MAQUINARIA Y LOS EQUIPOS .....	213
TABLA 21 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS EN EL ÁMBITO DE LA SEGURIDAD Y LA PROTECCIÓN.....	214
TABLA 22 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS EN EL ÁMBITO DEL MEDIO AMBIENTE .....	215
TABLA 23 RELACIÓN DE ALTERNATIVAS DE LAYOUT A JERARQUIZAR .....	216
TABLA 24 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE PRIMER NIVEL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	222
TABLA 25 COMPARATIVA DE CRITERIOS ECONÓMICOS DE SEGUNDO NIVEL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS ....	223
TABLA 26 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE RENDIMIENTO DE SEGUNDO NIVEL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS	224
TABLA 27 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE CAPACIDAD DE SEGUNDO NIVEL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS ...	225
TABLA 28 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE EXPANSIÓN DE SEGUNDO NIVEL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS ....	225
TABLA 29 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE FUNCIONALIDAD DE SEGUNDO NIVEL DE MAQUINARIA Y EQUIPOS .....	226
TABLA 30 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE PRIMER NIVEL DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN.....	227
TABLA 31 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE PRIMER NIVEL DE MEDIO AMBIENTE.....	228

TABLA 32 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE UBICACIÓN DE SEGUNDO NIVEL DE MEDIO AMBIENTE.....	229
TABLA 33 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE DISEÑO DE SEGUNDO NIVEL DE MEDIO AMBIENTE.....	230
TABLA 34 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE GESTIÓN DE SEGUNDO NIVEL DE MEDIO AMBIENTE.....	231
TABLA 35 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN DE SEGUNDO NIVEL DE MEDIO AMBIENTE.....	232
TABLA 36 COMPARATIVA DE CRITERIOS DE EMERGENCIAS DE SEGUNDO NIVEL DE MEDIO AMBIENTE.....	232
TABLA 37 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LOS COSTES DE AUTOMATIZACIÓN.....	233
TABLA 38 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LOS COSTES DE SUELO.....	234
TABLA 39 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A COSTES DE PERSONAL.....	234
TABLA 40 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A COSTES DE MANTENIMIENTO.....	235
TABLA 41 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LOS COSTES DE EXPANSIÓN.....	235
TABLA 42 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO PASO DE CONTENEDORES.....	236
TABLA 43 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO TIEMPO DE SERVICIOS DE CAMIONES.....	237
TABLA 44 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO UTILIZACIÓN DE PUERTA.....	238
TABLA 45 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA TASA DE INACTIVIDAD.....	239
TABLA 46 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO TIEMPO DE PERMANENCIA DE LOS CONTENEDORES.....	240
TABLA 47 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.....	241
TABLA 48 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL NÚMERO DE CARRILES DE PUERTA.....	241
TABLA 49 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL NÚMERO DE GRÚAS DE PUERTA.....	242
TABLA 50 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL MOVIMIENTO DE CONTENEDORES DEL AUTOMATISMO.....	243
TABLA 51 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA POSIBILIDAD DE EXPANSIÓN.....	244
TABLA 52 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA COMPLEJIDAD DE EXPANSIÓN.....	245
TABLA 53 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL TIEMPO DE EXPANSIÓN.....	245
TABLA 54 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN.....	246
TABLA 55 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA FACILIDAD DE USO.....	246
TABLA 56 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CAMBIO DE ESCENARIO.....	247
TABLA 57 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS.....	248
TABLA 58 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE CANTIDAD DE SUSTANCIAS PELIGROSAS .....	249
TABLA 59 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE DISTANCIA AL NÚCLEO URBANO.....	250
TABLA 60 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE LA FIABILIDAD.....	251
TABLA 61 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE TIEMPO DE EVACUACIÓN.....	252
TABLA 62 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	253
TABLA 63 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	254
TABLA 64 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE DISPONIBILIDAD DE SUELO INDUSTRIAL .....	255

TABLA 65 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE INUNDABILIDAD .....	256
TABLA 66 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	257
TABLA 67 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE IMPACTO ACÚSTICO .....	258
TABLA 68 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE IMPACTO PAISAJÍSTICO .....	259
TABLA 69 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	260
TABLA 70 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS .....	261
TABLA 71 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA PROTECCIÓN DE LA CAPA FREÁTICA .....	262
TABLA 72 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA ZONA DE RESIDUOS .....	263
TABLA 73 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE CONTENEDORES POR FRACCIÓN DE RESIDUOS .....	264
TABLA 74 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EMISIONES) .....	265
TABLA 75 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS .....	266
TABLA 76 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CONTROL DEL TRANSPORTE DE PRODUCTOS.....	267
TABLA 77 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LAS MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA EL RUIDO...	268
TABLA 78 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL MANTENIMIENTO DE LA RED DE AGUAS .....	269
TABLA 79 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN .....	270
TABLA 80 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO CONSUMO DE AGUA .....	271
TABLA 81 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO CONTROL DE MÁQUINAS, VEHÍCULOS E INSTALACIONES .....	272
TABLA 82 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A LA RECUPERACIÓN DE LA CAPA DE TIERRA VEGETAL .....	273
TABLA 83 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO MATERIAL ABSORBENTE EN LA ZONA..	274
TABLA 84 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO PROCEDIMIENTOS .....	275
TABLA 85 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO FORMACIÓN.....	276
TABLA 86 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE AL CRITERIO METEOROLOGÍA.....	277
TABLA 87 JERARQUÍA DE ALTERNATIVAS EN BASE AL RESULTADO DE LAS ENCUESTAS AL PANEL DE EXPERTOS	278
TABLA 88 GRÁFICO SOBRE LA JERARQUÍA DE LAS ALTERNATIVAS ORDENADAS DE MAYOR A MENOR.....	278
TABLA 89 RELACIÓN DE PESOS DE LOS CRITERIOS ORDENADOS DE MAYOR A MENOR POR SU GRADO DE INFLUENCIA EN EL PROCESO DE TOMA DE DECISIÓN.....	282
TABLA 90 RELACIÓN DE CRITERIOS Y PESOS PARA LOS QUE SE PRODUCE UN CAMBIO EN LA ALTERNATIVA IDEAL .....	316
TABLA 91 RELACIÓN DE CRITERIOS Y PESOS PARA LOS QUE SE PRODUCE UN CAMBIO EN LA SEGUNDA POSICIÓN DE PREFERENCIAS .....	317

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA TESIS**



## 1.1 Introducción

Debido al auge del comercio mundial cada vez son más las mercancías que se transportan de unos países a otros mediante contenedores. Las mercancías peligrosas no son una excepción. Esto hace que los operadores logísticos estén estudiando la manera de hacer nuevas instalaciones que sean más eficientes y obtengan más rendimiento.

La creciente demanda de descongestión de los puertos requiere de innovaciones y estudios en el manejo de tecnologías y procesos de gestión de la cadena de suministro relacionados con el contenedor.

Por otra parte, el transporte intermodal ha sido reconocido como una importante opción que busca influir en la distribución modal hacia modos más sostenibles, como el ferrocarril, el transporte marítimo de corta distancia y por vías navegables interiores

Sin embargo, el transporte por carretera sigue siendo indispensable y debemos avanzar en encontrar métodos que contribuyan a una combinación entre modos de transporte óptima para cada tipo de transporte.

Hay una serie de obstáculos comerciales, técnicos y organizativos para superar en este proceso de combinar una serie de servicios de transporte en una cadena de transporte eficiente.

La gestión integrada del transporte requiere un cierto nivel de integración de negocio que exige confianza y en consecuencia a menudo un punto de vista de la cooperación a largo plazo.

Este estudio aborda problemas relevantes del mercado de contenedores que se deben afrontar con carácter urgente para hacer frente a las exigencias y necesidades específicas de las diferentes categorías de mercancías, como los productos químicos peligrosos.

Abordar los requisitos específicos relativos a los contenedores con mercancías peligrosas en relación con la seguridad, el medio ambiente y la protección puede conducir a soluciones a largo plazo sostenibles.

Este hecho disminuirá los costos de logística y al medio ambiente así como los riesgos. Por otro lado, la optimización y el modelado de procesos relativos a mercancías peligrosas podría ser aplicable a la mejora de los procesos de terminales y sistemas de gestión con el fin de hacer frente a las limitaciones espaciales de los puertos congestionados y zonas pobladas cercanas.

Debido a razones históricas, numerosos puertos de mar de Europa, no están adecuadamente ubicados, encontrándose cerca de zonas densamente pobladas, por lo que se demanda un cuidadoso manejo de mercancías peligrosas en las terminales de contenedores, así como políticas para reducir el almacenamiento de contenedores y la congestión del tráfico en general.

Este hecho, junto con las limitaciones que la legislación impone a la manipulación y almacenamiento de sustancias químicas en los puertos provocan que los agentes intervinientes cometan irregularidades como la ocultación de riesgos.

Así, el estudio aborda la idea de tratar la gestión de mercancías peligrosas, el transporte y la descongestión a través del análisis y desarrollo de un modelo y un simulador de terminales interiores, conectadas a una terminal portuaria de forma que responda a todas las cuestiones destacadas.

Tener terminales terrestres de contenedores directamente conectadas por carretera, ferrocarril o río con un puerto o estación de tren, incrementará la eficiencia de estos puertos o terminales de ferrocarril, que se encuentran limitadas por el espacio y sus propias infraestructuras, y no son aptos para la manipulación de mercancías especiales (mercancías peligrosas, los alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos, artículos de frigo, etc... ).

Recientemente se están desarrollando zonas especiales alrededor de los



puertos, y en el futuro alrededor de las estaciones de ferrocarril, para las operaciones de logística relacionada directamente con el transporte multimodal, y estas áreas pueden ser apropiadas para desarrollar este tipo de concepto de las terminales terrestres directamente conectadas con un puerto o estación de tren.

Además, estas terminales interiores pueden prestar otro tipo de servicios necesarios más allá del propio almacenamiento y manipulación de cargas. Como son, por ejemplo: depósito de contenedores vacíos, Controles aduaneros, Reparación de Contenedores, etc.

Este concepto hará el transporte multimodal más eficiente, y por supuesto un transporte en contenedor más seguro, protegido y respetuoso con el medio ambiente.

Este concepto se representa gráficamente en la siguiente figura:

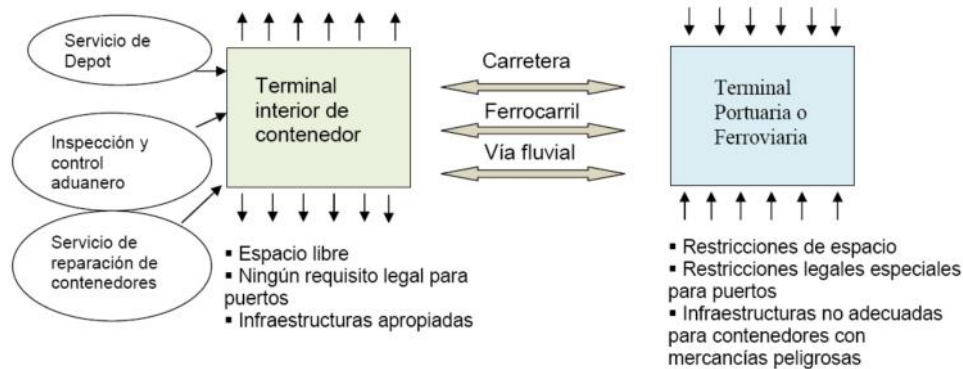


Figura 1. Esquema de terminal interior de contenedores interconectada con una terminal portuaria o ferroviaria

El hecho que en la terminal interior se manipulen mercancías peligrosas hace que aspectos de seguridad, protección y gestión medioambiental deban contemplarse como factores de diseño de forma más relevante que en otro tipo de terminales de contenedores con mercancías no peligrosas

## 1.2 Antecedentes

La necesidad de I+D+i en el ámbito de la transferencia de contenedores de sustancia químicas peligrosas viene motivada por la elevada importancia que está adquiriendo esta actividad en los últimos tiempos.

En 2013 la Unión Europea produce el 16.7% de todos los productos químicos del mundo. La tabla 1 presenta los valores de producción de productos químicos en billones de euros para distintas regiones y para el mundo durante el año 2013.

Región	Billones de Euros	Porcentaje (%)
EU28	0,527	16,7
Resto Europa	0,103	3,3
Nafta	0,528	16,7
Latino América	0,144	4,6
Resto de Asia	0,408	12,9
China	1,047	33,2
Japón	0,152	4,8
Corea del Sur	0,132	4,2
India	0,072	2,3
Resto del mundo	0,044	1,4
Total	3,156	100

Tabla 1 Ventas de productos químicos por regiones en el mundo en billones de euros y en porcentaje de billones de euros sobre el total durante el año 2013.  
Fuente: CEFIC (European Chemical Industry Council) <http://www.cefic.org/Facts-and-Figures>. Consulta: 10 de Agosto de 2015)

### Leyenda:

- Resto de Europa incluye Suiza, Noruega, Turquía, Rusia y Ucrania
- NAFTA North American Free Trade Agreement
- Resto de Asia excluyendo China, India, Japón y Corea del Sur

Aunque profundizaremos sobre el término en el capítulo 4, se define como mercancía peligrosa las materias y objetos cuyo transporte está prohibido

según el ADR o autorizado únicamente en las condiciones que éste prevé (ADR, 2015)

Desde el 2003 al 2013 (de donde se tienen los últimos datos disponibles) las ventas han pasado de un mercado global de 1,326 billones de euros a 3,156 billones de euros.

En este sentido, diversos factores contribuyen al incremento del flujo de contenedores de sustancias peligrosas, siendo además que dichos factores hacen predecir una tendencia creciente de dicha actividad.

Efectivamente, se ha producido en los últimos años, como resultado de la potenciación de las industrias de países como Paquistán, India, China, etc., un incremento acelerado de importaciones de productos químicos vía marítima por contenedor.

Por otro lado, en lo que respecta al tráfico de productos químicos se ha percibido un notable aumento del tráfico de contenedores frente al detrimento de mercancía no containerizada; por ejemplo, el puerto de Valencia registró un incremento de más de 65.000 toneladas entre 2006 y 2007 en el tráfico de contenedores de sustancias químicas, mientras que apenas fue de 5.000 en el caso de las no containerizadas.

En números globales, el tráfico de este tipo de mercancías containerizadas en el puerto de Valencia alcanzó en los últimos años en torno a los 2 millones de toneladas.

Un aspecto importante que repercute en el impulso de la transferencia de contenedores de sustancias químicas peligrosas radica en la imposibilidad de almacenar contenedores con productos químicos peligrosos más de un determinado tiempo dentro del recinto portuario (RD 145/89 de 20 de enero y Ley 48/2003, de 26 de Noviembre, modificada por la Ley 33/2010 de 5 de agosto).

Con todo lo anterior, aunque existen empresas de depósito de

contenedores, no hay oferta alguna de terminales o depósitos que almacenen mercancías peligrosas en cantidades superiores a las estipuladas en el RD 1254/99 (SEVESO).

Así, no hay oferta en servicios de terminales terrestres de contenedores cargados con mercancía peligrosa fuera de los recintos portuarios que actúen como centros de regulación de carga.

Al unir esta circunstancia al hecho de que se limita el periodo de permanencia del contenedor cargado con mercancías peligrosas dentro del recinto portuario, hace que se utilicen depósitos de contenedores no peligrosos para depositar contenedores con mercancía peligrosa no declarada.

Para evitar esta congestión y contribuir al desarrollo de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas vamos a establecer una metodología para optimizar el diseño de su layout.

Por ello, en primer lugar, se deberá realizar un estudio profundo de las características y aspectos en torno a la maquinaria y procesos que deberán ser llevados a cabo en la terminal. Este estudio permitirá definir posteriormente las necesidades que el sistema deberá cubrir.

Hay que considerar que el layout de la terminal mantiene una relación biunívoca con la maquinaria y equipos que se utilizan (Monfort et al, 2011). Ya que estos van a permitir el apilamiento en distintos niveles, filas y distancia entre contenedores (ver figura 2).

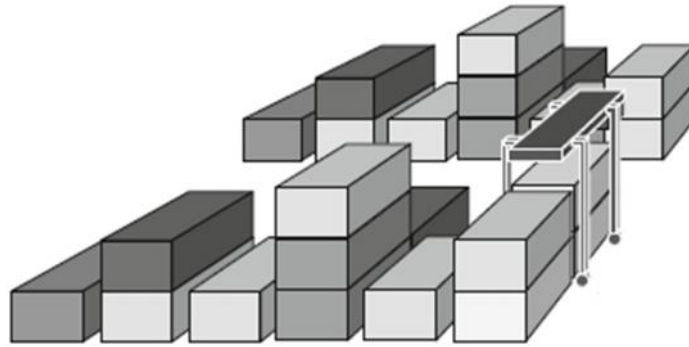


Figura 2 Estructura esquemática del layout presentado por una Straddle Carrier.

Por tanto el sistema de almacenamiento viene determinado por el tipo de medios de manipulación que se van a utilizar. Éstos, a su vez, permiten grados de apilamiento y posibilidades de automatización muy dispares de manera que la elección de estos medios condiciona de una manera esencial a la propia terminal.

Dentro de los aspectos a tener en cuenta están el control de los tiempos de almacenaje, la situación estratégica de los contenedores que permita una correcta entrada y salida de los mismos, así como la compatibilidad de las sustancias almacenadas en una determinada área del almacén. Aspectos como el tipo de movimientos, tonelaje, procedimientos de alzado y almacenaje, etc.

Este estudio de modelización de una terminal de contenedores de mercancías peligrosas debe contemplar el cumplimiento de toda la legislación que le aplica.

Los contenedores que transportan mercancías peligrosas deben de ser situados en algunos casos en lugares separados del tráfico ordinario, de manera que se cumplan las exigencias de seguridad tanto en su almacenamiento como en la manipulación. En otros casos es suficiente con que se segreguen unos de otros, respetando unas distancias mínimas.

En esta tesis abordaremos el tema de la segregación de mercancías peligrosas durante el almacenamiento.

Por ello vamos a identificar, entre otros, criterios relacionados con los aspectos de seguridad, protección y medioambiente.

Según el tipo de clasificación de las sustancias, los requerimientos de segregación varían dependiendo de las posibles reacciones peligrosas que se forman por el contacto entre diferentes tipos de estas mercancías.

Es por ello que se ha realizado un estudio del arte en cuanto a normativa de almacenamiento de productos químicos, para determinar la manera óptima de almacenar las mercancías peligrosas en la terminal de contenedores.

Estas normativas sectoriales, sin embargo, nunca hablan específicamente de almacenamiento de contenedores de mercancías peligrosas si no que se refieren a mercancías peligrosas envasadas por lo que, mediante el estudio de la normativa, extraeremos una serie de requisitos generales a tener en cuenta a la hora de almacenar mercancías containerizadas.

En conclusión, a la hora de diseñar un layout de una terminal interior se deben tomar varias decisiones y es importante priorizar los criterios a considerar. En esta tesis se propone un modelo holístico que ayude a la toma de decisiones para el diseño de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas a través de la priorización de alternativas aplicando la teoría de decisión multicriteria (métodos AHP y ANP).

### **1.3 Modelos de decisión multicriteria AHP y ANP**

Multicriteria decision analysis (MCDA) o multicriteria decision making (MCDM) como los métodos AHP (Analytic Hierarchic Process) y ANP (Analytic Network Process) empleados en este estudio, son procedimientos que se utilizan cuando se tienen múltiples criterios y se quieren priorizar para la dirección de un proceso, así lo definió la Sociedad Internacional de MCDM (International Society on Multiple Criteria Decision Making) en 2010.

Existen diferentes métodos MCDA basados en distintos fundamentos teóricos como optimización, consecución de un objetivo o goal, superación o la potente combinación de estos.

El objetivo en común de las diversas técnicas es ser capaz de evaluar y elegir entre alternativas basándose en un análisis sistemático que ayuda a la toma de decisiones.

Los diferentes métodos requieren diferentes tipos de datos y están compuestos por diferentes algoritmos. Los métodos varían en la forma de valorar cada criterio y en cómo combinar las evaluaciones para lograr la evaluación general. Algunos son técnicas para establecer un ranking, algunos identifican una única alternativa y otros diferencian entre alternativas aceptables e inaceptables (Linkov & Ramadan, 2004).

Recientemente se ha realizado un estudio bibliométrico utilizando la Web of Science combinada con las palabras clave correspondientes a distintos métodos multicriteria sobre la utilización de este métodos en cadenas de suministro (Tramarico et al. 2015). Los resultados que muestra revelan el interés creciente hacía el método seleccionado en la presente tesis.

En este estudio se compara el número de publicaciones que existen en relación a los métodos multicriteria. Para ello introducen en la Web of Science palabras clave relativas a estos métodos, en concreto usan:

- AHP, Analytic Hierarchic Process

- ANP, Analytic Network Process
- Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
- Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)
- Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)
- Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS)
- ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE).

Además se introduce como criterio de búsqueda el tema de “supply chain”. Encontrando un total de 9.119 publicaciones. En este artículo se puede comprobar que el método multicriteria más utilizado en las publicaciones durante los años 2011 a 2014 es el AHP, del que se encuentran 1872 artículos. Seguido del método ELECTRE con 201 artículos.

Por tanto, la aplicación de este método y su utilidad práctica hace que esté siendo cada vez más usado y despierte un interés creciente.

De hecho en este estudio los autores aprecian un crecimiento considerable de las aplicaciones de estos métodos en nuevas áreas de investigación como comercio electrónico, financiero, ingeniería, etc.

Dado el interés de este método, en esta tesis se emplea para optimizar el layout de una terminal interior de mercancías peligrosas una de las técnicas MCDA, la conocida como proceso analítico jerárquico (AHP) y proceso analítico en red (ANP). Este método ha sido diseñado y desarrollado por Saaty desde 1980 realizando varias mejoras posteriores en el mismo (Saaty 2006). Es un método que permite comparar alternativas basándose en su rendimiento relativo respecto a un criterio de interés. El método AHP es un caso particular del método ANP

Después de considerar las decisiones de un experto o panel de expertos, se establecen los pesos de cada criterio. El método AHP permite agregar varios hechos relacionados con la toma de una decisión en un único objetivo o goal para con esto seleccionar la alternativa cuyos resultados



permitan obtener el mayor valor para la función objetivo. Es una optimización donde la alternativa preferida se elige mediante la optimización de una función objetivo (compensatoria).

En AHP se utilizan un método de comparación de pares sobre el criterio de decisión cuantitativo. Los evaluadores expresan la intensidad de la preferencia de un criterio sobre el otro en una escala de valores del 1 al 9, utilizando la siguiente escala fundamental:

- 1.- Igual. Dos actividades contribuyen en igual medida al objetivo
- 3.- Moderada. La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
- 5.- Fuerte. La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
- 7.- Muy Fuerte. Una actividad es mucho más favorecida que la otra: su predominancia se demostró en la práctica
- 9.- Extrema. Las pruebas que favorecen a una actividad más que a otra son del nivel de aceptación más alto posible

2, 4, 6 y 8 se utilizan para pasar entre los valores anteriores, a veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transición.

Los expertos comparan los pares de criterios recogiendo los resultados en una matriz y para cada comparativa se obtiene una puntuación. Si a la actividad "i" se le ha asignado un valor del 1 al 9 cuando se compara con la "j" entonces la "j" tiene el valor recíproco cuando se la compara con "i".

Con estos datos se obtiene el peso normalizado que se calcula para cada criterio utilizando la media de cada fila dividida por la media de la suma de los criterios. Además se calcula la consistencia de los resultados.

Hay un software desarrollado para aplicar este método, llamado

“superdecision”, que ha sido utilizado en esta tesis. A continuación se presentan los pasos seguidos para aplicar el modelo analítico jerárquico AHP en esta tesis.

En nuestro caso el problema es priorizar las alternativas de diseño del layout de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas desde el punto de vista operacional y económico, de seguridad y protección y desde el punto de vista medio ambiental.

El modelo analítico jerárquico se construye para lograr este objetivo, o goal, mediante la priorización de diferentes alternativas que se evalúan en base a varios criterios. Los criterios y las alternativas son elementos de decisión en el problema, o nodos en el modelo, que se construyen para jerarquizar y obtener información sobre el objetivo.

En cuanto al modelo ANP, la característica principal respecto al AHP es que permite introducir relaciones de interdependencias y realimentación entre los distintos elementos del sistema. En el modelo AHP sólo se dan relaciones de arriba abajo, mientras que el ANP en un mismo nivel (de izquierda a derecha) se pueden presentar diferentes relaciones.

Algunas de las aplicaciones más recientes de este método son:

- selección de proyectos para una planta fotovoltaica. (Aragonés-Beltrán et al. 2010) y (Aragonés-Beltrán et al. 2014)
- desarrollo de fuentes de energía sostenibles en Indonesia (Hasan et al. 2012)
- desarrollo de las opciones municipales de residuos sólidos (Khan & Faisal 2008)

## **1.4 Objetivos de la investigación**

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar un modelo holístico aplicado al proceso de toma de decisión en el diseño del layout de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas a través de la jerarquización de alternativas de maquinarias y equipos para la manipulación de contenedores, aplicando la teoría de decisión multicriteria (métodos AHP y ANP).

Para ello se realizará un exhaustivo estudio del estado del arte para identificar y ponderar, junto con un panel de expertos, los criterios que intervienen en este proceso de toma de decisión, así como para concretar las alternativas posibles de máquinas y equipos susceptibles de ser utilizados en una terminal interior con sustancias peligrosas, biunívocamente ligadas al layout de la terminal.

Tras la identificación y ponderación de criterios y la definición de alternativas, priorizaremos estas alternativas aplicando los métodos AHP y ANP con la ayuda del software "superdecision"

La toma de decisión en el diseño del layout de una terminal interior de contenedores con sustancias peligrosas se realiza mediante la priorización de alternativas de máquinas y equipos que pueden utilizarse en este tipo de terminales, dada la relación biunívoca existente entre ambos.

Finalmente se aplicará un análisis de sensibilidad modificando los pesos de ponderación de los criterios que intervienen en el proceso de toma de decisión aplicando los métodos AHP y ANP con el fin de evaluar cómo afecta esto al proceso de toma de decisión en la jerarquización de alternativas en el diseño de layouts

## **1.5 Estructura del documento de tesis**

En este capítulo se empieza por una descripción del interés del tema de la tesis, del alcance de la investigación, y con una descripción del modelo matemático utilizado. A continuación se concreta el objetivo de la investigación y se finaliza con la definición y conclusiones generales sobre esta tesis.

El capítulo 2 de esta tesis presenta el estado actual del conocimiento en relación con las terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas. Se describe hacia donde se han dirigido las investigaciones de los últimos años, demostrando el interés de esta tesis dado que existe escasa información sobre el diseño de layouts de terminales interiores para mercancías peligrosas. Se revisan también los distintos modelos matemáticos aplicados a la cadena de suministro y a los procesos de optimización de los sistemas de transporte y logística.

En el capítulo 3 se presentan las terminales interiores más relevantes tanto a nivel internacional como nacional, los servicios que prestan y las máquinas y equipos susceptibles de ser utilizados.

El capítulo 4 describe los requisitos legales y las buenas prácticas aplicables a una terminal de contenedores con mercancías peligrosas, en relación con la seguridad, la protección y la gestión medio ambiental.

En el capítulo 5 de esta tesis se presenta el panel de expertos según el método AHP y ANP, y los conocimientos que se han tenido en cuenta para el establecimiento de los criterios. El doctorando ha revisado el estado de la técnica y ha establecido visitas, reuniones y contactos con profesionales del sector. Este capítulo plasma la información más relevante de estas tareas.

Igualmente en este Capítulo 5 se describen los criterios obtenidos y sus pesos al aplicar el método AHP y ANP, se definen las alternativas posibles de máquinas y equipos biunívocamente ligadas al layout de la terminal, y se interrelaciona estas alternativas siguiendo el modelo matemático AHP y

ANP. Los resultados y las conclusiones de este estudio se presentan al final de este capítulo

En el capítulo 6 se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar cómo afecta la variación en los pesos de los criterios por parte del decisor en los resultados del proceso de priorización

En el capítulo 7 se presentan las conclusiones finales, tanto del método como del trabajo realizado, analizando los puntos clave a considerar para el óptimo aprovechamiento de los resultados presentados en esta tesis.

Y finalmente, en el capítulo 8 se presenta la revisión bibliográfica de la tesis, recogiendo todas las citas de artículos científico-técnicos, libros, manuales, webs, etc.

Por tanto, los capítulos 2, 3 y 4 presentan la parte inicial de análisis, los capítulos 5 y 6 presentan la parte de síntesis, y el capítulo 7 la evaluación (ver figura 3).

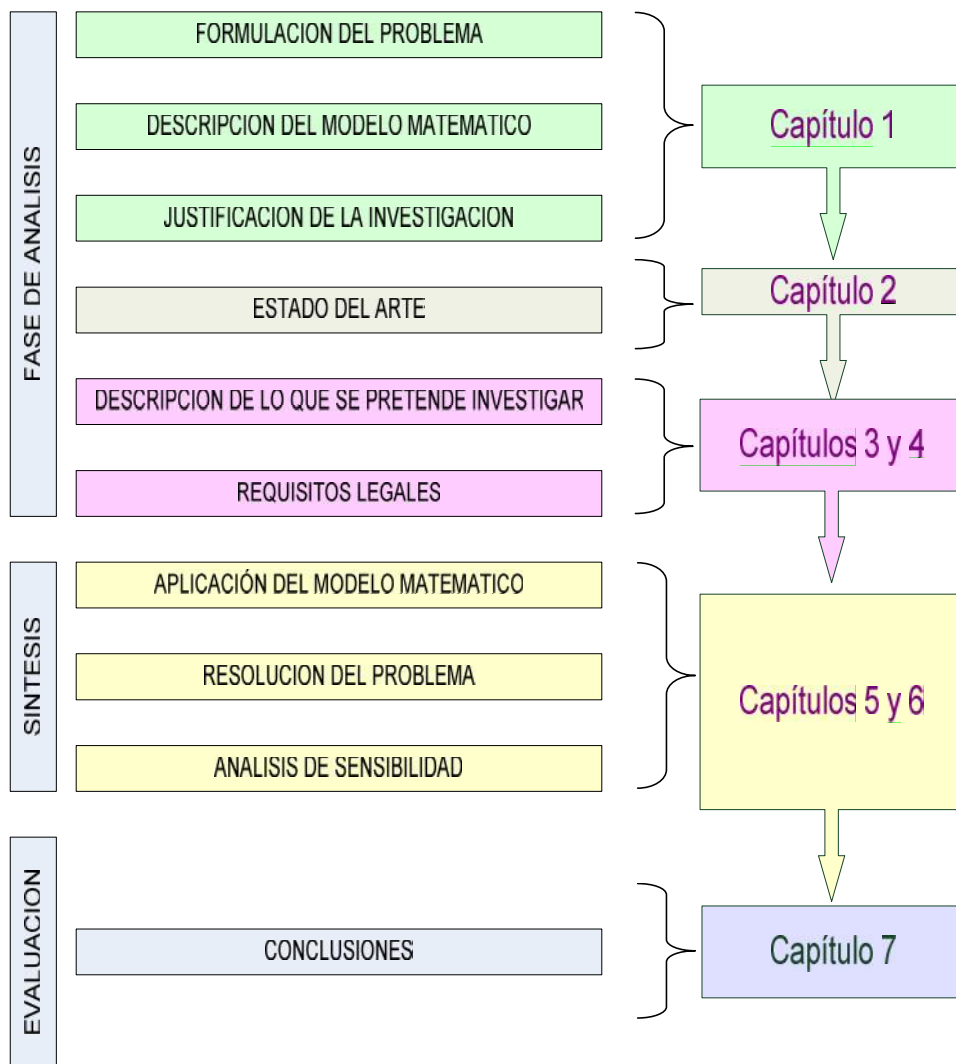


Figura 3 Esquema de la estructura de la tesis

## 1.6 Conclusiones

Las perspectivas para el desarrollo e implantación de terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas son muy positivas, dado el aumento del tráfico de exportaciones e importaciones de productos químicos, y las restricciones legales que tienen actualmente los puertos en relación con este tipo de mercancías. A medida que aumenta la congestión, las terminales interiores serán una solución más eficiente en la cadena de suministro de los contenedores con mercancías peligrosas

Las terminales interiores tomarán parte en la integración intermodal entre los puertos y sus zonas de influencia.

Es probable que sean los elementos más importantes dentro de la cadena de suministro, especialmente por la función de amortiguación que tienen en los envíos de contenedores, que pueden ser almacenados a bajo precio, en espera de ser enviados a sus destinos finales.

En particular, para el caso de las mercancías peligrosas, dada la normativa existente que limita el tiempo de permanencia de las mismas en los puertos y que además establece los requisitos a cumplir para su almacenamiento, la solución de las terminales interiores interconectadas con las terminales portuarias cobra gran importancia.

Dado el interés creciente del tema y la falta de estudios de investigación relacionados con las terminales interiores susceptibles de almacenar contenedores con mercancías peligrosas decidimos iniciar esta investigación.

En esta tesis vamos a desarrollar un modelo holístico aplicable al proceso de toma de decisión en el diseño del layout de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas a través de la priorización de alternativas de maquinarias y equipos para la manipulación de contenedores, aplicando la teoría de decisión multicriteria (métodos AHP y ANP).





## **CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE**



## 2.1 Introducción

Durante los últimos años ha habido un interés creciente en términos asociados al layout de una terminal. Si introducimos en Web of Science las palabras clave “optimizing layout” encontramos que el número de publicaciones sobre el tema sigue una tendencia creciente.

Record Count	% of 3024	Bar Chart
2013	428	14.15 %
2014	391	12.93 %
2012	385	12.73 %
2011	317	10.48 %
2009	296	9.78 %
2010	269	8.89 %
2008	259	8.56 %
2007	238	7.87 %
2006	232	7.67 %
2005	209	6.91 %
<b>Field: Publication Years</b>	<b>Record Count</b>	<b>% of 3024</b>

Tabla 2 Número y porcentaje de publicaciones por año sobre “optimizing layout”  
Fuente: Web of Science

Las áreas en las que se enmarcan estas publicaciones son:

Record Count	% of 3024	Bar Chart
ENGINEERING	1266	41.86 %
COMPUTER SCIENCE	606	20.04 %
PHYSICS	264	8.73 %
OPTICS	224	7.41 %
MATERIALS SCIENCE	179	5.92 %
ENERGY FUELS	108	3.57 %
INSTRUMENTS INSTRUMENTATION	108	3.57 %
TELECOMMUNICATIONS	95	3.14 %
SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS	98	3.07 %
AUTOMATION CONTROL SYSTEMS	81	2.67 %
<b>Field: Research Areas</b>	<b>Record Count</b>	<b>% of 3024</b>

Tabla 3 Áreas principales de las publicaciones sobre “optimizing layout”  
Fuente: Web of Science

Si realizamos una búsqueda algo más concreta introduciendo en Web of Science palabras clave como “stacking container”, encontramos en los últimos años un total de 349 publicaciones con también una clara tendencia al aumento, duplicándose las publicaciones desde el 2005 al 2014.

El área de investigación más destacada para estas publicaciones es la de ingeniería con un 42,7%, habiendo publicaciones en diferentes campos como el relacionado con la ciencia de materiales (9,55%), telecomunicaciones (3,7%).y otras áreas como el transporte (6,0%), etc.

La optimización del layout para una terminal portuaria es un tema de gran interés donde aún quedan campos por investigar. Y si consideramos el área de terminales interiores con contenedores de mercancías peligrosas observamos que se trata de un campo aún por explorar donde hay muchas posibilidades de realizar nuevos desarrollos que contribuyan al diseño y la optimización de este tipo de terminales.

## 2.2 Análisis

Algunas investigaciones relacionadas con la optimización de la eficiencia de las terminales portuarias, sin considerar la problemática de los contenedores con mercancías peligrosas, ni tampoco el concepto de terminales interiores como una solución logística a las terminales portuarias o ferroviarias, son:

a.- “Time-window constraints” donde los autores proponen un modelo de programación para minimizar el tamaño de la flota requerida en una Terminal para el transporte de contenedores durante el periodo de permanencia en la Terminal de cada contenedor(Vis et al. 2005)

b.- “Transtainer routing problem” (Narasimhan et al, 2002), donde se estudia el problema del tiempo mínimo de transferencia desde la ubicación del contenedor al vehículo

c.- (Alessandri et al. 2008) proponen un modelo dinámico de tiempo discreto de los flujos de contenedores en terminales marítimas, incorporando resultados de simulación.

d.- (Cullinane et al. 2006) estipularon que altos niveles de eficiencia técnica se asocian con el tamaño de la Terminal y con una mayor participación del sector privado

e.- (Kang et al. 2008) ofrecieron modelos matemáticos que optimizan el tamaño de las grúas y vehículos para las operaciones de descarga del contenedor desde el barco a la Terminal. Un modelo “Double cycling model” es desarrollado para esta optimización

f.- (Kim & Kim 2002) desarrollaron un método para determinar el espacio necesario y el número de grúas a partir de un modelo de costes, de forma que se tuviera en cuenta el precio del suelo y la amortización de las máquinas

g.- (Liu et al. 2002) diseñaron, analizaron y evaluaron aspectos en cuatro terminales diferentes de contenedores automatizados (ACT), incluidos los basados en el uso de vehículos de orientación automática (AGV), un sistema de transporte lineal de motor (LMCS), un sistema de red de rieles superiores (GR), y uno de gran altura y la estructura de almacenamiento automatizado de recuperación (AS / RS). El modelo de costos se utiliza para evaluar el costo asociado a cada aspecto de la terminal. Los resultados indican que la automatización puede mejorar el rendimiento de los terminales convencionales sustancialmente y con un coste mucho menor. Entre los cuatro conceptos considerados la basada en vehículos de orientación automática (AGV) resulta ser el más eficaz en términos de rendimiento y costo.

h.- (Goodchild & Daganzo 2007) concluyeron que el sistema de "Double cycling" en las operaciones de carga y descarga puede reducir el tiempo de operación en un 10%, incrementando así la productividad de los barcos, las grúas y la Terminal. La investigación demuestra que el "double cycling" puede crear una mayor eficacia en la productividad de la grúa, reduciendo el número de ciclos en un 20%

i.- (Evers & Koppers 1996) proponen un modelo exitoso de control del tráfico en el interior de una terminal

j.- (Lee & Kim 2010) proponen dos métodos para optimizar el tamaño del hueco ("block size") de un contenedor en una terminal, considerando tanto los requerimientos de las grúas como de los contenedores

También existe una amplia investigación científica para determinar el tamaño óptimo y la ubicación de las terminales de contenedores, entendidas como zonas de transferencia, de almacenamiento, de mantenimiento, inspecciones y otros servicios públicos, a través de sistemas inteligentes o los algoritmos genéticos, como los propuestos por (Taniguchi et al. 1999) para la zona de Osaka en Japón.

Otra investigación científica sobre optimización de las terminales portuarias

se ha centrado en determinar el número y ubicación de las zonas de control de aduana e inspección de los daños (Harris et al. 2009)

Hay métodos avanzados de simulación como apoyo a los métodos de investigación científica y como herramienta de optimización, por ejemplo, utilizando un enfoque bayesiano a través de "la cadena de Markov de simulación Monte-Carlo" en la forma propuesta por (Yan et al. 2009)

Por otra parte, hay que considerar la investigación científica que existe sobre cómo optimizar desde un punto de vista económico, la gestión de los contenedores vacíos (Cheung et al, 1998)

La investigación científica también ha desarrollado modelos para mejorar la eficiencia en las terminales de contenedores por ferrocarril, así como la determinación de los parámetros clave en el diseño de una terminal de ferrocarril-carretera (Ballis & Golias 2002), (Bostel N. & Dejax P., 1998), (Niérat 1997), (Yano & Newman 2001)

Cabe destacar las publicaciones de (Wiese et al. 2013) donde los autores realizaron una completa descripción de los modelos para diseñar un layout utilizando straddle carrier y de (Lee & Kim 2013) que presentan modelos para optimizar el layout.

Los principales criterios a considerar por estos autores a la hora de planificar el layout de las terminales portuarias han sido: la capacidad de albergar contenedores de la zona de contacto con el mar, la capacidad de la zona terrestre, la selección de los equipos y la planificación del layout.

Sólo algunas publicaciones como (Hamidou et al. 2014) destacan la importancia de la gestión de las mercancías peligrosas en las terminales de contenedores

Para completar nuestro estudio del estado del arte se ha seleccionado la categoría "Transportation Science and Technology" en el "Science Citation report", y se han introducido como palabras clave: "Container", "Terminal", "Carbon footprint", "AHP", "ANP", "Structural Optimization", "Green terminal

perspective” y “Environment”. Las publicaciones que se han obtenido han sido las siguientes:

(Arango et al. 2013) propone un modelo matemático junto con el desarrollo de un proceso heurístico, basado en un algoritmo genético, para resolver el problema que se genera en las zonas de carga y descarga de contenedores. Se busca minimizar la distancia recorrida por la maquinaria utilizada para llevar a cabo las operaciones de carga y descarga mediante el uso del programa informático llamado Arena.

(Liu et al. 2002) propone automatizar y utilizar tecnología avanzada para conseguir acelerar las operaciones en las terminales de contenedores. Basan su estudio en el uso de vehículos automáticamente guiados (AGV's), conducción por motor lineal (LMCS), sistema de automatización basado en una red de raíles (GR) y almacén con recogida y depósito (AS/AR). Crean escenarios con demandas futuras para obtener las características operacionales, configuración y maquinaria de cada terminal. Sus resultados fueron que una automatización de las terminales podría mejorar el rendimiento sin costes elevados.

(Binding, C, et al, 2008) desarrolla un sistema autónomo y seguro para el seguimiento de los contenedores en tiempo real. Se muestra tanto el software como el hardware necesario para llevar a cabo dicha operación.

(Bian, ZC; et al, 2015) propone un modelo de asignación para AGV's eléctricas en terminales automatizadas de contenedores con largos recorridos ya que presentan el problema de la autonomía de las baterías.

En (Chen et al. 2013) los autores proponen una metodología para minimizar los patrones de llegada de los camiones para reducir las emisiones provenientes de los motores de los camiones a ralentí. Proponen un algoritmo genético para resolver el problema teniendo en cuenta tanto el tiempo de espera como el modelo de llegadas de los camiones.

En (Yang & Lin 2013) se comparan el rendimiento de cuatro máquinas de carga. Basan la comparación en aspectos de eficiencia trabajando, rendimiento de ahorro de energía y rendimiento de reducción de la huella de carbono.



(Yang, Y-C & Shen K-Y, 2013) investigan los factores clave y maquinaria que afectan al rendimiento de operación de las terminales de contenedores y compara el rendimiento de varios recintos de contenedores en el puerto de Kaohsiung. Tanto para el rendimiento de operación como para aspectos medioambientales, se obtuvo la conclusión de que los puentes grúa automáticos representan un óptimo frente a los otros modelos comparados.

A continuación se presentan las publicaciones más destacadas relacionadas con la aplicación del método AHP en el tema de interés:

Recientemente el método AHP ha sido utilizado para priorizar los factores que influyen en la maquinaria y equipos transportadores de contenedores en las terminales portuarias (Yang et al. 2014). Este artículo sólo contiene información sobre uno de los grupos de nuestro estudio. Para ello establecen una estructura jerárquica de tres niveles. Los autores realizan una encuesta previa a expertos en Taiwan y comprueban que la infraestructura y las políticas portuarias son los factores más críticos seguidos de los costes, las estrategias y la eficiencia operacionales.

Como conclusión general de este estudio en el caso de los puertos los criterios más importantes a considerar en el transporte portuario (para contenedores) están basados en la simplificación de los procedimientos, el arrendamiento de las terminales; tiempo de transbordo; un sistema de tasa portuaria favorable y la eficiencia de las operaciones en la terminal. Estos criterios están relacionados con las comunicaciones y los costes y han quedado reflejados en este estudio.

Encontramos también un libro publicado en Agosto de 2015 sobre el uso de sistemas en la toma de decisiones para planificar un transporte eficiente en la que se aplican modelos jerárquicos para contribuir en la toma de decisiones durante el transporte de mercancías peligrosas donde se usa el método AHP para asignar peso a los criterios a considerados. En este caso incluyen temas de seguridad y medio ambiente que han sido considerados en esta tesis para establecer los criterios.

El método AHP también ha sido aplicado para realizar mejoras en la

configuración del layout de de una terminal (Golbabaie et al, 2010). Según este artículo existen tres diferentes escenarios del layout para los contenedores cuya planificación afectará a la productividad y al éxito de los proyectos. Dado que hay incertidumbres, variables y variaciones planificar este layout es un problema multicriteria típico. Los autores consideran como indicadores del rendimiento los costes fijos y variables, tiempos de transferencia, flexibilidad y la capacidad de apilamiento. Utilizan el AHP para evaluar cada alternativa de layout con respecto a cada criterio y finalmente priorizan alternativas. Los principales criterios que incluyeron son costes, flexibilidad, ciclos de transferencia, capacidad de almacenaje.

No se contemplan las terminales interiores, ni la problemática de los contenedores con mercancías peligrosas. Tampoco los aspectos medioambientales se han abordado en esta publicación.

Como se ha comentado cuando se ha definido el método, recientemente se ha realizado un estudio bibliométrico utilizando la Web of Science combinada con las palabras clave correspondientes a distintos métodos multicriteria sobre la utilización de este métodos en cadenas de suministro (Tramarico et al. 2015).

Los resultados que muestra revelan el interés creciente hacía el método seleccionado en la presente tesis.

En este estudio se compara el número de publicaciones que existen en relación a los métodos multicriteria. Para ello se ha introducido en la Web of Science palabras clave relativas a estos métodos, así como la palabra cadena de suministro ("supply chain"), encontrando un total de 9.119 publicaciones. En este artículo se puede comprobar que el método multicriteria más utilizado en las publicaciones durante los años 2011 a 2014 es el AHP, del que se encuentran 1.872 artículos.

De hecho hemos apreciado un crecimiento considerable de las aplicaciones de estos métodos en nuevas áreas de investigación como comercio electrónico, financiero, ingeniería, etc.

## **2.3 Conclusiones**

En la bibliografía encontramos múltiples referencias sobre como optimizar el diseño y el layout de terminales portuarias. En este capítulo hemos descrito brevemente una revisión sobre las estrategias seguidas para este proceso de optimización.

Los principales criterios a considerar por estos autores a la hora de planificar el layout de las terminales portuarias han sido: la capacidad de albergar contenedores de la zona de contacto con el mar, la capacidad de la zona terrestre, la selección de los equipos y la planificación del layout.

Si nos centramos en el área que nos ocupa el layout y el tema de mercancías peligrosas las publicaciones que tratan estos temas son escasas. Por ello en esta revisión se analizan con profundidad estas publicaciones para ayudarnos a la hora de establecer los criterios a considerar en este estudio.

Dado que para lograr nuestro objetivo necesitamos conocer más información sobre estos procesos, en el capítulo siguiente se presenta una descripción de los conceptos más relevantes relacionados con el tema.

La aplicación del método analítico jerárquico (AHP y ANP) a nuestro problema para realizar la jerarquización de alternativas de layout se debe a la utilización con éxito de este método en otros procesos similares de toma de decisión.

De hecho recientemente se ha observado un crecimiento considerable de las aplicaciones de estos métodos en nuevas áreas de investigación como comercio electrónico, financiero, ingeniería, etc.

El estudio del estado del arte, unido al saber hacer del doctorando, a su experiencia como Consejero de Seguridad y a sus contactos con probada experiencia técnica por numerosos proyectos realizados sobre temas de logística, y que han formado parte del panel de expertos, hace que se pueda obtener conclusiones fundadas sobre los criterios intervinientes, sus

comparativas y las relaciones con las alternativas planteadas para optimizar el diseño del layout de una terminal interior con mercancías peligrosas.

## **CAPÍTULO 3. TERMINALES INTERIORES DE CONTENEDORES**



### 3.1 Introducción

Las terminales de contenedores son áreas donde se realizan una gran cantidad de movimientos de vehículos y maquinaria pesada constantemente, donde además, en este caso se manipulan productos peligrosos. Áreas de este tipo necesitan de una alta gestión de la organización y unos servicios específicos muy especializados a fin de reducir los costes, los riesgos derivados de la actividad de estiba-desestiba, recepción y expedición de mercancías peligrosas y el aumento del rendimiento y la eficacia en las operaciones.

Es importante incidir en el concepto de “Depot” frente al de “Terminal” y el conflicto generado, al menos en España, con respecto a la superposición de competencias o problemas relativos al llamado “intrusismo profesional” en esta área de actividad.

Concretamente el conflicto de competencias surge entre los llamados almacenes de contenedores, terminales de contenedores y depots (palabra de origen francés que significa “depósito”).

Los términos “almacén” y “depot” o “depósito” pueden inducir a error, aunque un “depot”, tal y como se concibe hoy en día no es sólo un lugar donde meramente se almacenan contenedores, sino donde se inspeccionan técnicamente cada uno de ellos y se les hace una puesta a punto consiguiendo la idoneidad para seguir circulando en tráfico internacional. Otra función normalmente asumida por los “depots” es la de la logística de los contenedores vacíos y lo que respecta a la inspección y reparación de los mismos, funciones a menudo asumidas por las terminales de contenedores.

En cuanto a la terminología de “terminal de contenedores” es importante recalcar el hecho de si ésta es marítima ó terrestre:

Una terminal marítima de contenedores es un área ubicada fundamentalmente en zonas portuarias, acondicionada expresamente para

la estiba y desestiba de contenedores que arriban o parten por vía marítima, incluyendo instalaciones y maquinaria para facilitar la intermodalidad del transporte (buque-camión; buque-ferrocarril). Según la normativa Española, sólo se pueden almacenar mercancías peligrosas en las terminales situadas en recintos portuarios durante un máximo de tiempo en función del peligro de la mercancía, existiendo la obligación de expedir inmediatamente ciertas mercancías una vez cargadas o descargadas.

Una terminal terrestre de contenedores consiste en un área especialmente acondicionada y equipada donde convergen las rutas por carretera, vías ferroviarias, y a veces fluviales, en donde se efectúa, por medios mecánicos, la transferencia de contenedores de un modo de transporte a otro. Pueden funcionar como estaciones temporales de almacenamiento, y siempre que cumplan con la normativa relativa al almacenamiento y manipulación de mercancías peligrosas, éstas pueden encontrarse en las instalaciones durante periodos superiores al tiempo que establece como límite la Ley de puertos mediante el RD 145/1989 de 20 de Enero

Veremos en este capítulo la historia del nacimiento del concepto de terminal interior en las distintas partes del mundo y su evolución hasta hoy en día, describiendo las principales terminales interiores existentes en la actualidad.

En este capítulo se describirán también los servicios potenciales (Steenken et al. 2005) que pueden formar parte de la actividad de una terminal terrestre de contenedores de mercancías peligrosas, y que influyen en el proceso de identificación y ponderación de los criterios que intervienen en la toma de decisión en el diseño del layout de la terminal interior.

Igualmente se hace una descripción de todas las máquinas que pueden utilizarse en una terminal interior de contenedores, tanto de gran tamaño (puertos secos) como en terminales interiores pequeñas

En la última parte de este capítulo se analizan los layouts posibles en función de las máquinas y equipos utilizados, y se describen unos



ejemplos de terminales interiores.

Este análisis, junto con el realizado en el capítulo 4 sobre requisitos de seguridad y medio ambientales, nos posicionará en el problema y nos permitirá definir un modelo holístico para la priorización de alternativas de diseño del layout de una terminal de contenedores interior con mercancías peligrosas.

## **3.2 Ejemplos de terminales interiores de contenedores**

### **3.2.1 En el mundo**

#### **3.2.1.1 América del norte**

Desde el desarrollo de la red ferroviaria continental ha habido grandes terminales terrestres en América del Norte. Sus creación fue un proceso natural allí donde las terminales interiores corresponden a grandes zonas interiores de mercado, normalmente alrededor de las áreas metropolitanas al mando de una base regional de producción y distribución.

Aunque las exportaciones fueron importantes, especialmente para los productos agrícolas, este sistema de terminales terrestres se utilizó principalmente para la distribución nacional de mercancías.

Con la globalización y la intermodalidad han surgido en América del Norte dos categorías principales de terminales terrestres.

La primera está relacionada con el comercio del océano, donde las terminales interiores son una extensión de una terminal marítima, situada en una de las tres cadenas principales (Atlántico, el Golfo y el Pacífico), y desarrollan la función tanto de terminales satélite como, con más frecuencia, de centros interiores de carga (por ejemplo, Chicago).

La segunda categoría se refiere a las terminales terrestres relacionadas con el comercio del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte), que pueden actuar como centros de autorización previa antes de pasar por la agencia de aduanas. Kansas City puede considerarse la más avanzada iniciativa de puertos interiores en América del Norte, ya que combina, a través del área metropolitana, instalaciones ferroviarias intermodales de cuatro operadores ferroviarios diferentes, zonas de comercio exterior y parques logísticos, situados en varios lugares. Hay incluso una instalación de almacenamiento subterráneo, considerada la más grande del mundo, Subtropolis, lo que le confiere la característica de tener una temperatura muy estable.

### **3.2.1.2 Asia**

En Asia, las terminales interiores son casi desconocidas, de modo que pueden ser consideradas como en una fase inicial (FEPORIS, 2009)

Las características geográficas, es decir, las concentraciones de población costera, y las estrategias de desarrollo orientadas a la exportación, no han favorecido la creación de terminales interiores

Han aparecido varios depósitos de contenedores en el interior como una forma de mejorar la disponibilidad de los contenedores de exportación dentro de los clúster de fabricación, pero el transporte de contenedores se realiza principalmente en camión.

China es el ejemplo con el mayor potencial para la creación de una red de terminales interiores. A medida que la economía china se dirige hacia un mercado interior más amplio, el tráfico intermodal de ferrocarril y de barcos se prevé aumentará.

Eventualmente, es probable que surja otro sistema de terminales terrestres en el Sudeste de Asia, particularmente a lo largo del Mekong.

A la luz de las experiencias norteamericanas y europeas, la cuestión sigue siendo cómo Asia Pacífica vaya desarrollando su propia estrategia de puerto interior y potenciando los puertos regionales.

Las singulares características geográficas de la región permiten confiar mucho en el concepto de terminales satélite y centros interiores de carga en su proximidad.

Una situación similar se produce por la creación de corredores de larga distancia de tráfico intermodal de ferrocarril, dentro de China y a través de Asia Central.

### **3.2.1.3 América central y del sur**

Destaca como más relevante el puerto interior de Guanajuato (México). Es un complejo logístico de más de 1.000 hectáreas y está conformado por las siguientes áreas:

- Aduana Interior. Con una superficie de 31 hectáreas.
- Parque Industrial “Santa Fe”. Cuenta con una superficie de 196 hectáreas y una reserva de 500 más.
- Recinto Fiscalizado Estratégico. Nuevo concepto en México que se desarrollará en una superficie de 144 hectáreas.
- Terminal Intermodal de Carga. Desarrollada por Ferromex en una extensión de 44 hectáreas.
- Centro de Carga Aérea. Con un área de 34 hectáreas ofrecerá al usuario la opción de mover mercancías.
- Zona de Servicios y Educativa

### **3.2.2 En Europa**

En Europa Occidental el establecimiento de terminales interiores es el más avanzado, con una estrecha integración con las terminales portuarias, con servicio de transporte ferroviario y servicios de barcos.

El transporte de barcos de contenedores en Europa tiene su origen en el transporte entre Amberes, Rotterdam y la cuenca del Rin, y en la última década ha crecido considerablemente en el eje norte-sur entre los países del Benelux y el Norte de Francia. Amberes y Rotterdam, en conjunto manejan alrededor de un 95% del total europeo de transporte de contenedores por barco.

Los volúmenes en el Rin han aumentado en los últimos años. Por poner un ejemplo, pasaron de 200.000 TEU en 1985 a casi 1,8 millones de TEU en 2006 (FEPORTS, 2009). Esto ha llevado a frecuencias más altas y a buques más grandes.

Los procesos de integración europea han permitido la creación de zonas del interior más naturales (desde el punto de vista comercial) que no existían antes.

Dado que una buena parte del mercado europeo es interior, un crecimiento en el comercio internacional exige el establecimiento de lugares de vías intermediarias para ayudar a acomodar un mayor flujo entre los puertos y el interior.

Una gran concentración de terminales interiores se pueden encontrar alrededor del Rin / delta del Escalda, que es la región de comunicación más importante de Europa (Amberes / clúster portuario de Rotterdam), y donde la función de terminales satélite es prominente.

Casi todos los puertos europeos tienen una estrategia de terminal interior como una forma de proteger el tráfico interior.

### 3.2.3 En España

Las principales terminales de contenedores Españolas se localizan en los más importantes puertos especializados en el tráfico containerizado. Algeciras, Valencia, Barcelona y Las Palmas cuentan con las siete primeras terminales de contenedores de España.

La terminal que gestiona Maersk en Algeciras ocupa la primera posición del ranking, a mucha distancia de las siguientes (FEPORTS, 2009). Las mayores terminales de contenedores se encuentran en los puertos, ya que son los nodos de transferencia internacional que mayor volumen, cobertura y seguridad en los envíos y recepciones pueden ofrecer, muy por encima del transporte aéreo o terrestre.

No obstante las terminales terrestres de contenedores son importantes nodos entre generadores de carga y destinatarios, instalaciones que permiten asegurar la calidad de las mercancías, las óptimas condiciones del transporte y la seguridad de las operaciones de transporte, que cubren extensas áreas más allá incluso que los hinterlands de los puertos.

A continuación se describen los principales Puertos Secos en España (FEPORTS, 2009):

- Azuqueca de Henares (Guadalajara)
- Coslada
- Zaragoza (tmZ)
- Otras terminales interiores de menor dimensión

### 3.2.3.1 Puerto seco de Azuqueca de Henares (Castilla la Mancha)

El puerto Seco de Azuqueca inició su actividad en 1996 y está ubicado a orilla de la línea férrea de ancho convencional Madrid-Barcelona, la mayor zona logística de la península ibérica. El Puerto Seco de Azuqueca, que cuenta con una terminal ferroviaria intermodal privada de 60.016 m<sup>2</sup> y con una capacidad de 580 TEUS (vacíos) y 500 TEUS (Llenos), está conectado por ferrocarril con los puertos marítimos de Barcelona, Bilbao y Santander.

Esta infraestructura permite potenciar las actividades importación/exportación de las empresas del entorno, aprovechando el “punto de ruptura” de la cadena de transporte y el cambio modal para la realización de tareas de valor añadido. Ofrece servicios regulares marítimos, servicios regulares terrestres, prestación de servicio a trenes y cargas, consolidación/desconsolidación de cargas y acarreos. Además, ofrece servicios de contenedores, como carga/descarga de contenedores, almacenaje de contenedores vacíos, almacenaje de contenedores llenos, servicio de limpieza de contenedores, servicio de reparación de contenedores, servicios de aduanas y otros servicios.

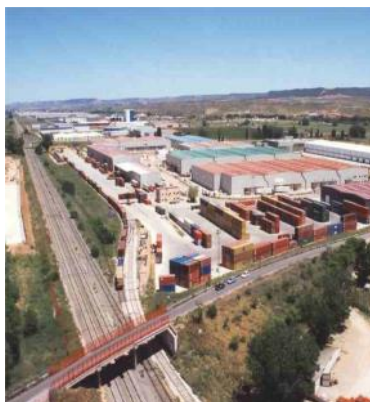


Figura 4 Puerto Seco de Guadalajara.  
Fuente: FEPORTS. 2009

### **3.2.3.2 Puerto seco de Coslada (Madrid)**

El Puerto Seco de Coslada nace en 1995 tras la firma de un convenio entre el Ayuntamiento de la localidad, el Ministerio de Obras Públicas (actual Ministerio de Fomento), la Comunidad de Madrid, SEPES – Entidad Pública Empresarial del Suelo, y Puertos del Estado, al que posteriormente se añadiría RENFE.

Se inauguró en 2000 como primer puerto seco Español, promovido con capital de las autoridades portuarias de Bilbao, Algeciras, Valencia y Barcelona. Este tipo de instalaciones consta de una terminal ferroviaria y una superficie para el almacenamiento de contenedores, y permite estrategias de suministro de productos “just in time”.

El Puerto Seco de Coslada, haciendo frontera con la Nacional II y el Aeropuerto de Barajas, se asienta sobre 120.000 metros cuadrados cedidos por el Ayuntamiento durante cincuenta años. Desde este Puerto llegan y se distribuyen mercancías que tienen su destino y origen en los cuatro principales puertos marítimos del país (Bilbao, Valencia, Barcelona y Algeciras), convirtiéndose en la puerta nacional e internacional de la recepción y distribución de mercancías, fundamentalmente del norte de África.

Una quinta parte de las mercancías que llegan a nuestro país por vía marítima pasan por este Puerto Seco.

El 13 de diciembre de 2005 el Secretario de Estado de Infraestructuras de Fomento inauguró la ampliación del Puerto Seco de Madrid, con una superficie total de 115.000 m<sup>2</sup>, y una capacidad de almacenaje anual de cerca de 110.000 TEUs, duplicando así la capacidad inicial de la terminal.  
(Ministerio de Fomento)





Figura 5 Puerto Seco de Coslada  
Fuente: FEPORTS. 2009

### 3.2.3.3 Puerto seco de Zaragoza (terminal marítima interior de Zaragoza-Aragón)

La Terminal Marítima Interior de Zaragoza, tmZ, operativa de 2001 y con una superficie de 30.000 m<sup>2</sup>, es una iniciativa estratégica del puerto de Barcelona y Mercazaragoza que permite ofrecer un conjunto integrado de instalaciones y de servicios próximos y garantizados.

La Terminal, que está ubicada en Mercazaragoza, plataforma logística alimentaria del Valle del Ebro, se sitúa en el centro de la principal área industrial y logística de la península y en el medio del principal corredor terrestre-peninsular (Madrid-Barcelona), a 300 km de Bilbao, Valencia y Toulouse, y tiene una capacidad alrededor de 7.000 TEUs.

Desde tmZ, los cargadores pueden acceder a los mismos servicios que actualmente se prestan en el Puerto de Barcelona, con la misma garantía de las operaciones que se realizan directamente en el Puerto.



Figura 6 Puerto Seco de Zaragoza  
Fuente: FEPORTS. 2009

Los servicios que ofrece la Terminal son:

- Logística de cargas
- Consolidación y desconsolidación de contenedores FCL (*Full Container Load*) y LCL (*Less than Container Load*) con servicio de almacén y todos los servicios complementarios (clasificación,

paletización, trincaje, etc.).

- Operaciones en depósito aduanero (ADT - *Almacén de Depósito Temporal* y DDA – *Depósito Distinto del Aduanero*).
- Servicios de recogida y distribución.
- Logística de Contenedores
- Depósito para Contenedores Vacíos
- Manipulación de Contenedores Llenos
- Servicios de almacenaje, manipulación, limpieza y reparación
- Servicios de recogida y distribución
- Incorpora un área de transbordo a los vehículos de transporte por carretera y para las operaciones de carga/descarga sobre plataforma portacontenedores.
- Servicio de Transporte
- Servicio de transporte entre Barcelona y Zaragoza, y recogida y entrega local.

### 3.2.3.4 Otras terminales interiores de menor dimensión

Además de las grandes terminales interiores, o puertos secos, descritos anteriormente, en España existen pequeños centros logísticos de manipulación y almacenamiento de contenedores con sustancias peligrosas

Se describen a continuación los más relevantes:

Empresa	Ubicación y m <sup>2</sup>	Maquinaria Número y tipo
Euconsa	Tarragona 3000 m <sup>2</sup>	1 carretilla para la manipulación de contenedores vacíos
Fitotrans	Gijón 2.500 m <sup>2</sup>	1 carretilla para la manipulación de contenedores llenos y vacíos
Gorgori	Tarragona, 10.000 m <sup>2</sup>	2 carretillas para la manipulación de contenedores llenos y vacíos
Lavamiranda	Ribarroja 2.000 m <sup>2</sup>	1 carretilla para la manipulación de contenedores llenos y vacíos
Hoyer	Tarragona 2.500 m <sup>2</sup>	1 carretilla para la manipulación de contenedores vacíos
Solazo	Abrera 360 m <sup>2</sup>	1 carretilla para la manipulación de contenedores llenos y vacíos

Tabla 4 Relación de terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas en España de menor dimensión

### **3.3 Servicios susceptibles de ser prestados por una terminal interior de contenedores**

El proceso de identificación y ponderación de los criterios que intervienen en el diseño del layout de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas, así como la comparativa de las alternativas de layout frente a estos criterios, se ve influenciado por los servicios susceptibles de ser prestados por la terminal

Los servicios que una terminal interior de contenedores puede prestar son (FEPORIS, 2009):

#### **3.3.1 Antepuerto**

El antepuerto es una figura que se está usando ya en algunos puertos en el mundo con el objeto de mejorar la capacidad operativa de los diferentes terminales y reducir la contaminación ambiental producida por vehículos en espera.

El mismo concepto se podría aplicar a una Terminal Terrestre de contenedores, aunque ésta no se encontrara en un recinto portuario, no obstante la razón de ser del antepuerto en muchas ocasiones se debe a la limitación de espacio de las instalaciones portuarias y a su capacidad limitada para albergar un número determinado de camiones. En el caso de una terminal terrestre se debe tener en cuenta la ubicación de ésta a la hora de considerar el diseño de un antepuerto.

El antepuerto consiste en una instalación física (playa de estacionamiento) o virtual para los camiones, tanto para carga de importación como para carga de exportación, ubicada antes del acceso principal de la terminal, en la cual se revisan y preparan los documentos de la carga antes de que el camión llegue al puerto.

El antepuerto es un estacionamiento de vehículos que puede ir dotado con oficinas del terminal, instalaciones sanitarias y salas de espera para los conductores. En dichas instalaciones se pueden registrar las placas del camión, del remolque, los números del contenedor o contenedores y la

información del conductor. Igualmente en el antepuerto se programan las fechas y horas de entrada de la carga a la terminal con el objeto de operar ordenadamente y aprovechar mejor la capacidad de la terminal. Igualmente es recomendable que conste de tecnologías de reconocimiento óptico de caracteres (OCR, para lectura automática de matrículas y placas) y pesaje dinámico.

El antepuerto permite regular el flujo de tráfico en la terminal evitando congestiones en la vía, accidentes y personal ajeno a la actividad en la zona, lo que genera satisfacción en los transportistas y reduce además el consumo de combustible y el impacto que esto produce en el medio ambiente.

El uso del antepuerto y la programación de entrada a la terminal son fundamentales para un adecuado uso de la tecnología OCR y brinda grandes beneficios ambientales, como queda patente en puertos como el de Los Ángeles (Estados Unidos).

### **3.3.2 Servicio de estiba y desestiba**

Se trata de la principal actividad, la que da sentido a la terminal de transferencia terrestre de contenedores. Las operaciones de carga y descarga de contenedores entre los diversos modos se realizan por personal propio de la terminal (a diferencia de las terminales marítimas que deben contar con personal de las sociedades de estiba). En función de las características, infraestructuras y ubicación de la terminal, las transferencias pueden ser:

- Camión – Camión
- Camión - Ferrocarril
- Ferrocarril – Ferrocarril (poco frecuente)
- Ferrocarril – Camión
- Ferrocarril – Gabarra
- Gabarra – Ferrocarril
- Camión – Gabarra
- Gabarra – Camión

Las transferencias se pueden realizar directamente entre los diversos modos (transbordos) o con almacenamiento intermedio de la mercancía, de ahí la necesidad de que este tipo de terminales cuente con infraestructuras para el almacenamiento adecuado de mercancías peligrosas. (European Commision, 2009)

### **3.3.3 Servicio de almacenamiento temporal**

Se trata de un servicio básico en este tipo de almacenamientos terrestres. Hay que tener en cuenta las limitaciones de estancia de las mercancías peligrosas en los puertos según el tipo de peligro reguladas en el RD 145/1989 de 20 de Enero, y la Ley 48/2003 de 26 Noviembre, modificado por la Ley 33/2010 de 5 de agosto, dado que los puertos son puntos de la cadena de transporte mucho más críticos y sensibles que lo que pudiera ser una terminal de transferencia terrestre.

Los puertos se encuentran en áreas urbanas, cerca de la población, junto al mar, recurso muy sensible desde el punto de vista ecológico, donde además las mercancías se concentran en un espacio bastante inferior y con presencia de personas en mucha mayor densidad que en las terminales interiores o terrestres, alejadas de núcleos urbanos, situadas en zonas de menor impacto ecológico y con menor presencia de personas.

Para el servicio de almacenamiento se deben tener en cuenta las premisas de segregación de contenedores en función de la mercancía y cantidad transportadas.



### **3.3.4 Servicio de almacenamiento permanente**

Si se da el caso de que ciertas mercancías se transportan con mucha frecuencia a través de la terminal, quizá a la empresa generadora/destinataria le puede interesar disponer de un almacén permanente de estas mercancías con el fin de regular la demanda y el stock de la misma. Para ello es necesario contar con espacio e instalaciones adecuadas (almacenamiento, seguridad, etc).

Por ejemplo, ciertas sustancias que se transportan en contenedores cisterna pueden ser transferidas a depósitos más grandes que actúan como almacenes lejanos de la empresa destinataria (o generadora de carga), de forma que se pueden regular los envíos a los destinatarios finales en función de la disponibilidad y necesidades del destinatario.

También puede aplicarse lo mismo a graneles sólidos transportados en contenedor para ser almacenados en silos. Estas instalaciones también son útiles para transferencia de graneles sólidos o líquidos entre distintos modos de transporte.

### **3.3.5 Servicio de “depot” de contenedores vacíos**

Los puertos son lugares donde el espacio está bastante limitado y a menudo se debe recurrir a instalaciones extra-portuarias para poder almacenar la gran cantidad de contenedores que quedan vacíos tras la desconsolidación de las mercancías que transportan.

Otros contenedores permanecen vacíos a la espera de ser lavados o reparados para poder ser utilizados de nuevo. Las terminales interiores ofrecen la posibilidad de actuar como depots (depósitos) de estos contenedores al disponer de un mayor espacio para estas operaciones.

### **3.3.6 Servicio de alquiler y venta de contenedores**

Pueden ser tanto refrigerados como secos. Dicho servicio puede ser muy beneficioso para la terminal de contenedores ya que permite asegurar cualquier contingencia por el estado del contenedor o la carga con la que se podría encontrar el operador de transporte.

### **3.3.7 Terminal de Ferrocarril**

Actualmente el porcentaje de transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril en España es muy pequeño, no obstante resulta interesante ubicar la terminal de contenedores en un emplazamiento cercano a una vía férrea que conecte nodos de transporte importantes, tanto terrestres como marítimos. Es importante tener en cuenta la diferencia de ancho de vía entre Europa y España, de manera que en función del volumen de transporte de mercancías peligrosas esperado para la exportación-importación, se debe de tener en cuenta este hecho en el diseño de la terminal y sus conexiones. No obstante, parece que la tendencia en el futuro sea la de adecuar el ancho nacional al europeo.

Para adecuar dichas conexiones, es necesario hacer un estudio previo mediante la cuantificación de la demanda de transporte terrestre del área donde se ubique la terminal, la caracterización física y funcional de la red viaria, así como de las actuaciones programadas y el establecimiento de índices objetivos que permitan la comparación entre los accesos al puerto, con el fin de detectar los principales conflictos y poder plantearse las actuaciones adecuadas. A priori, y a falta de profundizar más en este tema, parece económicamente más viable realizar transferencias de contenedores entre trenes de ancho europeo a ancho español en nodos intermodales que adaptar las líneas ferroviarias nacionales al ancho europeo, dado el escaso volumen de mercancías peligrosas que se transportan en contenedor por vía ferroviaria.

En 2008 se transportaron en España 605.233 toneladas de mercancías peligrosas en 45.641 unidades de transporte intermodal (contenedores), las cifras han crecido. (FEPORIS, 2009)

Las cifras sobre el transporte de mercancías peligrosas muestran también una clara tendencia al crecimiento. El transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril ha variado en la EU dependiendo del año sufriendo subidas y bajadas. En España en el año 2014 el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril experimentó un incremento considerable. Como ejemplo en la a tabla siguiente se pueden ver las toneladas transportadas por año de 2008 a 2014 en España:

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Toneladas	943	2266	2328	2320	1639	1663	3862

Tabla 5 Total de mercancías peligrosas transportada por tren (en toneladas) desde los años 2008 a 2014 en España.

Fuente: Eurostat (consulta de Septiembre 2015)

Para valorar el diseño de una terminal ferroviaria se sugiere tener en cuenta:

- La posibilidad de contar con un parque de vías de ancho mixto o convertible y doble vía para entrada-salida.
- La recomendación de instalar vías electrificadas en pro de fomentar la calidad del aire y evitar consumo de combustibles. Actualmente en muchas terminales el tren llega de forma electrificada a las inmediaciones de la terminal, debiéndose entonces cambiar de maquinaria por una diesel, lo que incrementa los tiempos considerablemente y resta competitividad al modo ferroviario.
- Evitar en la medida de lo posible los pasos a nivel con el fin de mejorar la seguridad viaria. Además, esto reduciría el tiempo necesario para transportar las mercancías.

- Disponer de plataforma de carga/descarga a ambos lados de la vía para mejorar los tiempos de operación.



Figura 7 Terminal intermodal en Dortmund, que conecta el transporte de contenedores vía fluvial-ferrocarril

Fuente: Symeo GmbH, [www.symeo.com](http://www.symeo.com)

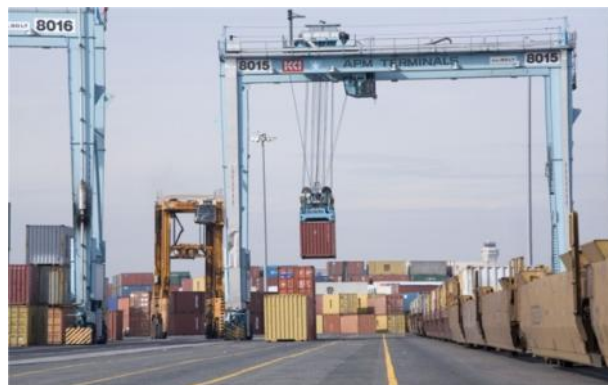


Figura 8 Terminal intermodal en New York, que conecta el transporte de contenedores vía carretera – ferrocarril.

Fuente: Port Strategy – online edition, [www.portstrategy.com](http://www.portstrategy.com)

### **3.3.8 Parque de bomberos propio**

La posibilidad de que la terminal de terrestre de transferencia se encuentre alejada de otras zonas industriales, núcleos urbanos, etc., hace altamente recomendable que la instalación cuente con un parque propio de bomberos, consistente en al menos un vehículo cisterna con mangueras a presión y personal especializado en extinción de incendios (aunque se recomienda que todo el personal que trabaje en dichas instalaciones se encuentre formado en extinción de incendios).

En ocasiones es el propio polo químico, polígono o núcleo industrial, el que cuenta con un parque de bomberos que presta servicio a las industrias del mismo, sin embargo, dadas las características que puede tener una terminal de contenedores con mercancías peligrosas, como pueden ser su tamaño, ubicación, características de las mercancías peligrosas almacenadas/transferidas, se debe considerar la instalación de un parque propio de bomberos.

### **3.3.9 Servicio de vigilancia 24 horas**

Las terminales de mercancías peligrosas son infraestructuras sensibles, críticas desde distintos puntos de vista. Una terminal de mercancías peligrosas puede ser un lugar donde se cometan u originen actos ilegales de sabotaje, robo, atentado con resultados de distinta índole en ocasiones difíciles de prever.

Por otro lado cualquier otro factor natural u operacional puede ser origen de accidente en zonas no vigiladas. El servicio de vigilancia debe de contar con:

- Personal experto de empresas de seguridad subcontratada, que disponga de vehículos adecuados para el desplazamiento entre las distintas áreas de la terminal.
- Circuito de Televisión Cerrado (CCTV) con sistema de grabación, visualización nocturna y detección de objetos/movimientos sospechosos.
- Sistema de sensores de intrusismo, temperatura, presencia,

movimiento, humo, etc., conectado a un sistema de alarma.

- Sistema de comunicaciones adecuado (walkie talkies, móviles, megafonía), tanto interior, como con el exterior (cuerpos y fuerzas de seguridad del Estado).
- Sistema de iluminación interior y exterior (disuasorio).
- Otros sistemas de vigilancia.

Al respecto de otros sistemas de vigilancia, recientemente las instalaciones de Terminales Marítimas del Sureste (TMS) en el puerto de Alicante cuentan con un Robot de Vigilancia MSecurit, diseñado para funciones de control y vigilancia.

Según la firma constructora del robot, éste es una herramienta de trabajo ideal del vigilante ya que proporciona información de forma remota. Entre las ventajas del uso de este robot se destacan la automatización e intensificación de las rondas de vigilancia, mejora de la cobertura de la vigilancia, mejora de la calidad de la vigilancia, reducción de riesgos al vigilante. Además, soluciona la seguridad para instalaciones complejas como puede ser una terminal de contenedores y permite el ahorro de los costes fijos de los sistemas de seguridad:



Figura 9 Robot de vigilancia en TMS, en el puerto de Alicante.  
Fuente: Diario del Puerto (diariodelpuerto.com)

### 3.3.10 Consolidación y desconsolidación de contenedores

Mediante la instalación de una estación de llenado y vaciado de contenedores (Container Freight Station – CFS) se puede tratar in situ el llenado o vaciado de contenedores y la consolidación / desconsolidación de contenedores a conveniencia.

En estas instalaciones la terminal provee los servicios de estibadores para llevar a cabo esas operaciones. Se deben incluir los servicios de clasificación, paletización, trincaje, etc



Figura 10 Container Freight Station en River Trade Terminal en Hong Kong  
Fuente: Fat Kee Steveores Limited (FKS – [www.fkstev.com](http://www.fkstev.com))

Se debe contar con un almacén en nave cerrado para realizar operaciones de consolidación y desconsolidación y maquinaria para el movimiento de palets, bobinas, etc., elementos para la carga y descarga de graneles sólidos y líquidos en contenedor (contenedor cisterna).

### 3.3.11 Suministro de energía para contenedores refrigerados

En el caso de que ciertas mercancías peligrosas se deban transportar refrigeradas en contenedor, es necesario dotar a la terminal al menos con puntos de suministro eléctrico para mantener la cadena de frío y por tanto a la mercancía en condiciones óptimas de seguridad y calidad para su transporte o almacenamiento.

Dichos contenedores deben situarse en un área específica teniendo en cuenta las normas de segregación en función de las materias que contienen. Usualmente se requieren líneas de potencia de 440 V y conexiones de corriente alterna para los contenedores.

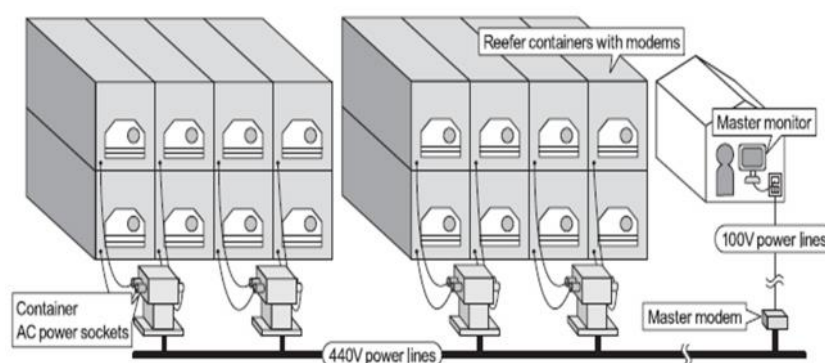


Figura 11 Sistema de suministro de energía para contenedores refrigerados y sistema de monitorización.

Fuente: Mitsui O.S.L. Lines ([www.molhk.com](http://www.molhk.com))



### 3.3.12 Cámaras frigoríficas

Para la consolidación-desconsolidación de ciertas mercancías que requieran de cadena de frío, se debe disponer de cámaras frigoríficas donde mantener a la temperatura adecuada dichas mercancías hasta su carga en contenedor o después de vaciado el contenedor.

La instalación debería contar con distintas cámaras para permitir la segregación de mercancías en función de su peligrosidad, antecámara, muelles de carga/descarga para camiones refrigerados, etc.



Figura12 Muelles para camiones refrigerados. Friopuerto (Valencia).  
Fuente: Fundación Valenciaport.



Figura13 Instalaciones para almacenamiento de pallets. Friopuerto (Valencia).  
Fuente: Fundación Valenciaport.

### 3.3.13 Limpieza y lavado de contenedores

Los contenedores una vez vacíos pueden contener restos altamente contaminantes y peligrosos tanto para el medio ambiente como para las personas. Si se dispone de un servicio de lavado "in situ" de contenedores con las instalaciones adecuadas para la recogida y gestión de los residuos y aguas de lavado se pueden evitar muchos problemas relativos al movimiento de estos contenedores o a la ocultación de los residuos contaminantes para evitar el pago de la gestión de los mismos.

La limpieza de contenedores se realiza con dispositivos de agua a presión y agentes detergentes. Las aguas de lavado deben ser recogidas y tratadas convenientemente.



Figura 14 Limpieza de un contenedor.

Fuente: [www.logisticarojac.com](http://www.logisticarojac.com) y P&O Trans Australia.

### **3.3.14 Depuradora de aguas y gestión de residuos**

En el caso que el área donde se ubique la terminal no cuente con depuradora de aguas y servicio de recogida y gestión de residuos, la propia terminal debería contar con una instalación adecuada de forma que las aguas de lavado de los contenedores y los residuos producidos puedan ser procesados convenientemente. Hoy en día existen muchas soluciones, desde equipos de depuración de aguas que pueden ser transportados en un contenedor, hasta una instalación fija de mayor tamaño en función de los caudales esperados.

Los residuos que se generan en una terminal de contenedores con los servicios que se están describiendo pueden ser muy amplios, incluyendo papel, cartón, envases, plásticos, lixiviados, tortas de fangos, etc. Los métodos para su recogida y gestión deberían evaluarse en función de las características de la terminal.

### **3.3.15 Mantenimiento y reparación de contenedores**

Se trata de un servicio de valor añadido, y en ocasiones incluso muy necesario ya que dependiendo del estado del contenedor, éste no debería ser trasladado ni siquiera vacío, en el caso de que su estructura estuviera muy dañada y con partes desprendidas.

Los contenedores para poder seguir circulando deben de estar en buen estado de mantenimiento, de manera que superen las inspecciones CSI de seguridad de contenedores. La terminal de contenedores podría funcionar como depot de contenedores vacíos almacenando aquellos que se reparan para su posterior uso.



Figura 15 Mantenimiento de contenedores.  
Fuente: Mrsthai.com Container repair, maintenance & cleaning

Normalmente el mismo servicio que realiza el lavado de contenedores realiza las tareas de mantenimiento y reparación.

Un taller de mantenimiento de contenedores debe contar con, entre otros equipos:

- Vehículos de levantamiento de contenedores (carretilla pórtico)
- Generadores eléctricos móviles
- Soldadoras portátiles (de gas y eléctricas)
- Herramientas mecánicas, gatos hidráulicos, elementos cortantes, sierras circulares, elementos fresadores, pinturas y tratamientos superficiales del contenedor.
- Stands para mantener los contenedores elevados.
- Etc.

### **3.3.16 Mantenimiento y reparación del parque de maquinaria**

Se trata de un servicio básico de este tipo de terminales donde se trabaja con carretillas, grúas, etc. Elementos mecánicos y eléctricos que deben pasar un exhaustivo mantenimiento y estar disponibles los elementos de recambio o reparación para evitar colapsos o paros en el funcionamiento de la terminal. Generalmente este servicio podría prestar servicio también a camiones y remolques de terceros que trabajen con la terminal.

### **3.3.17 Taller mecánico de camiones y remolques**

Los camiones que transportan contenedores pueden precisar de tareas de mantenimiento y reparación antes de salir de la terminal, de forma de que ante cualquier eventualidad se pueda disponer de un servicio in situ inmediato. Se trata de otro servicio de valor añadido que puede integrarse en la terminal en el caso de que el área industrial donde se encuentre no disponga de tal servicio.

### **3.3.18 Operaciones en depósito aduanero**

La terminal de contenedores puede actuar como depósito aduanero mediante el ofrecimiento de servicios como:

ADT: Almacén de Depósito Temporal. Cuando se trata de mercancías no comunitarias, éstas deben permanecer bajo control aduanero hasta el momento en que se procede al despacho de importación (pago de los tributos a la importación y cumplimiento de las formalidades aduaneras). Este control aduanero implica que las operaciones de vaciado y clasificación de mercancías aún no despachadas de importación, debe realizarse en almacenes que tengan la pertinente autorización aduanera.

DDA: Depósito Distinto Aduanero. Donde se pueden almacenar mercancías nacionales, comunitarias o de importación a libre práctica con inclusión simultánea en el Depósito Distinto del Aduanero, exentas del impuesto del IVA. Una vez que se retire del depósito y haya sido objeto de entregas o prestaciones de servicios exentas dentro del depósito, se

consideran operaciones asimiladas a la importación y no tienen que pagar el IVA a la salida del depósito, ya que en el mismo momento de la salida pagan y se deduce el IVA con un documento (el 380) que es liquidado en las declaraciones mensuales o trimestrales con Hacienda.

### **3.3.19 Áreas de inspección**

El área de inspecciones es necesaria para controlar el pre-embarque o la pre-entrega. Estas inspecciones abarcan por lo general:

Pre-embarque:

- Anti-narcóticos
- Autoridades sanitarias

Pre-entrega:

- Inspección fiscal
- Pre-inspección / toma de números de serie
- Autoridades sanitarias
- Otras autoridades

Estas inspecciones son por lo general de índole legal y la terminal debe de facilitar las instalaciones para la inspección las cuales se llevan a cabo por el estibador privado / terminal bajo la dirección de las autoridades pertinentes.

Contar con instalaciones para el escaneo de contenedores dotaría a la terminal de un altísimo valor añadido. No obstante debido a que estos equipos se recomienda instalarlos en las propias zonas portuarias antes de su embarque y al elevado coste de estos equipos, además de la necesidad de contar con personal de aduanas de Estados Unidos para su operación, hacen ésta una opción poco considerable para terminales e estas características.

### **3.3.20 Servicio médico**

Un servicio médico para atender desde cualquier eventualidad hasta primeros auxilios mientras se esperan servicios de urgencia se considera básico en instalaciones de este tipo.

Una vez más, si el área donde se localiza la terminal no dispone de servicio médico general, debería la terminal de contar con uno.

No se debe olvidar que se trata de una terminal de contenedores con mercancías peligrosas, por lo que se debe tener en cuenta el equipamiento, medicamentos, etc., que puedan ser eficaces en los primeros momentos tras una exposición, fuga, derrame, explosión o incendio fundamentalmente.

### **3.3.21 Aulas de formación**

La formación en el personal que manipule mercancías peligrosas (conductores, estibadores, personal de las terminales, de operadores de carga, etc.) es un requisito básico e indispensable para realizar las operaciones en la terminal de forma segura.

Un centro de formación relativo a la seguridad y eficiencia en la manipulación de mercancías peligrosas y de la maquinaria necesaria para la manipulación de contenedores, etc., que se encuentre situado en las mismas instalaciones que una terminal de contenedores puede ser un servicio de alto valor añadido ya que sobre el mismo terreno se pueden realizar ejercicios prácticos difícilmente realizables en otras instalaciones e incluso evitaría el desplazamiento innecesario del personal propio de la terminal.

Además, se podrían impartir otras sesiones formativas como: primeros auxilios, extinción de incendios, gestión de residuos, etc.

Dicho centro debería contar como mínimo con un aula, medios de impartición de cursos adecuados: cañón proyector, pantalla de televisión con sistema de reproducción de video, conexión a internet, etc., personal

formador experimentado y competente y personal de administración.

El centro impartiría, en función de la licencia obtenida, cursos periódicos, genéricos o específicos, al personal propio de la instalación o empresas clientes, incluyendo cursos oficiales como el de Consejero de Seguridad en el Transporte de Mercancías Peligrosas.

### **3.3.22 Dormitorios para conductores**

Este servicio permite que los conductores que lo precisen puedan descansar en buenas condiciones de confortabilidad, lo que significa un servicio de alto valor añadido para cualquier terminal.

No hay que olvidar que se está hablando de transporte de mercancías peligrosas y que los conductores a menudo realizan jornadas fatigosas que requieren de unas condiciones óptimas de descanso y atención, ya que un accidente en el que se involucren mercancías peligrosas puede conllevar unos efectos negativos muy superiores e imprevisibles comparado con otros accidentes donde no se involucren estas materias.

Un centro de descanso en la propia terminal debería contar con un edificio independiente con un número suficiente de dormitorios y cuartos de aseo, con las condiciones idóneas para favorecer el descanso de los conductores.

### **3.3.23 Otros servicios**

Por lo general las áreas donde se sitúan las terminales terrestres de contenedores son zonas con un elevado impacto visual, alejadas de áreas metropolitanas, donde los trabajadores de la propia terminal a menudo deben realizar largos desplazamientos para incorporarse a su puesto de trabajo. Igualmente los conductores de camiones a menudo vienen de recorrer largas distancias o se disponen a recorrerlas.

Estas condiciones laborales, se pueden considerar factores de estrés, fuente de desmotivación o de descontento profesional. Es por ello que se recomienda que la terminal o sus alrededores dispongan de servicios



adicionales como áreas de restauración y ocio, suministro de bebidas y alimentos, etc., sobre todo en el caso que el trabajador tenga que pernoctar en el área de la terminal.

Otro servicio que puede resultar muy útil y beneficioso en relación a su coste es el de acceso gratuito a internet wi-fi a todo el personal, transportistas, operadores que se encuentren en el área de la terminal. La propia terminal de contenedores, en función de su tamaño o sus recursos, puede disponer de un Servicio de Prevención de Riesgos Laborales propio (no contratado a un Servicio de Prevención Ajeno) que cubra las especialidades de Seguridad Industrial, Higiene y Ergonomía

### **3.4 Máquinas y equipos de manipulación de contenedores susceptibles de ser utilizados en una terminal interior de contenedores**

Un TEU es la unidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m), una caja metálica de tamaño estandarizado que puede ser transferido fácilmente entre diferentes formas de transporte tales como buques, trenes y camiones.

Las dimensiones exteriores del contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m) de largo por 8 pies (2,4 m) de ancho por 8,5 pies (2,6 m) de altura. Su volumen exterior es de 1.360 pies cúbicos equivalentes a 38,51 metros cúbicos. Su capacidad es de 1165,4 pies cúbicos equivalentes a 33 metros cúbicos.

El peso máximo del contenedor es 24.000 kg aproximadamente, pero al restar el peso en vacío, la carga en su interior puede llegar a pesar 21.600 kg.

Existe una carencia de estandarización en términos de alto, que va desde 4 pies y 3 pulgadas (1,30 m) a 9 pies y 6 pulgadas (2,90 m), siendo la altura más frecuente la de 8 pies y 6 pulgadas (2,59 m).

Aparte del contenedor de 20 pies, que se computa como un TEU, hay otros tamaños y tipos de contenedores. Los de uso más frecuente son de 40 pies (12,2 m); existen otras variantes del contenedor que se calculan como equivalentes a 2 TEU o 1 FEU (Forty-foot Equivalent Unit).

TIPO	LARGO		ANCHO		ALTO		PESO VACÍO T	PESO LLENO T
	'	mm	'	mm	'	mm		
1A	40	12.190	8	2.438	8	2.438	5.0	30.5
1AA					8½	2.690		
1AAA					9	2.742		
1B	30	9.124	8	2.438	8	2.438	4.0	25.4
1BB					8½	2.690		
1BBB					9	2.742		
1C	20	6.058	8	2.438	8	2.438	3.0	20.5
1CC					8½	2.690		
1CCC					9	2.742		
1D	10	2.992	8	2.438	8	2.438		
1DD					8½	2.690		
1DDD					9	2.742		

Figura 16 Medidas estandarizadas de contenedores  
Fuente: <http://www.kalmarind.nl>

Las máquinas y equipos para la manipulación de estos contenedores (TEUs) en una terminal interior de contenedores pueden ser los siguientes (Monfort et al, 2011):

### 3.4.1 Carretilla pórtico o “Straddle carrier”

Los straddle carriers (SCs, creados por Belotti en 1969) son carretillas pórtico que cargan el contenedor entre sus patas, a horcajadas, en paralelo a su dirección de desplazamiento, y pueden elevarlo varias alturas (ver Figura 18).

Se trata de máquinas muy versátiles que pueden realizar todos los movimientos necesarios para el traslado de los contenedores por la terminal, el almacenamiento, y la recepción y entrega de camiones externos. Incluso pueden emplearse para la carga y descarga de ferrocarriles, aunque no son las máquinas más adecuadas para esto.

Algunas de las empresas fabricantes más conocidas son:

Marca	País	Referencias
Cargotec Finland Oy	Finlandia	<a href="http://www.cargotec.com">http://www.cargotec.com</a>
Noell Mobile Systems GmbH	Alemania	<a href="http://www.noellmobilesystems.com">http://www.noellmobilesystems.com</a>
Schults Tommy	Australia	<a href="http://www.mobiconsystems.com">http://www.mobiconsystems.com</a>

Tabla 6 Fabricantes relevantes de Straddle carriers

En general, aunque las pilas formadas por SCs pueden alcanzar alturas de hasta 3 contenedores (3+1), la altura de pila media con la que trabajan las terminales que usan estos equipos está entre 1,5 y 2 contenedores. El ancho de pila es de un contenedor. Entre las pilas se deja un pasillo de 1,5 a 2,0 metros (mínimo 1,2 m) para las patas de los straddle carriers.

Este sistema aprovecha mejor el espacio, obteniéndose una densidad de apilado mayor que con plataformas, carretillas o reachstackers. Además,

los contenedores están muy accesibles y son necesarias pocas remociones.

Es un sistema idóneo para terminales de tamaño medio, que manipulan entre 100.000 y 400.000 contenedores al año, que no requieren un uso intensivo de la superficie disponible.

Es una máquina válida tanto para la interconexión muelle-patio como para la gestión de los contenedores en el patio.

El shuttle carrier (ShC) es un equipo similar al straddle carrier pero de menor tamaño, y de altura 1+1. Con él se pueden elevar los contenedores lo suficiente como para pasar uno por encima de otro, pero no sirve como equipo de almacenamiento. (Ver Figura 17)



Figura 17 Imagen de un Shuttle Carrier  
Fuente: FEPORT



Main Technical Data NSC H		
Power	354 Kw	
Max.Traveling speed	30 km/h	
Max.Hoisting speed	24 m/min	
Max. Lifting capacity	60 Tons	
Dead weight	56 Tons	
Main Technical Data NSC T		
Power	290 Kw	
Max.Traveling speed	28 km/h	
Max.Hoisting speed	24 m/min	
Max. Lifting capacity	60 Tons	
Dead weight	58 Tons	
* All data subject to final specification		

Figura 18 Comparativa de las propiedades técnicas de dos Straddle Carriers de la empresa Noell Mobile Systems GmbH.

Fuente:<http://www.noellmobilesystems.com>

### 3.4.2 Carretilla

Las carretillas son equipos capaces de trasladar y elevar los contenedores permitiendo su apilamiento. Por su gran flexibilidad, su capacidad de elevación y movilidad pueden emplearse como equipos de patio, para interconexión, para el apilamiento de contenedores vacíos, en operaciones de recepción y entrega y como equipos de apoyo (ver figura 19).

Esto hace que las carretillas deben incluirse como un posible equipo de una terminal interior de contenedores. No obstante, con estos equipos se consiguen intensidades de uso del suelo muy bajas porque las pilas de contenedores llenos son estrechas, de poca altura y deben estar bastante separadas: apilado a dos o tres alturas y normalmente dos contenedores de ancho para que todos los contenedores sean accesibles.



Figura 19 Carretilla  
Fuente: FEPORTS

Dependiendo de cómo sujeten los contenedores, las carretillas pueden ser de carga frontal (si enganchan el contenedor por las paredes frontales o laterales, con spreader o semi-spreader), elevadoras (si la sujeción es por arriba) o tipo horquilla (si lo hacen por debajo con horquillas)

Algunas carretillas no pueden utilizarse con contenedores llenos por problemas de estabilidad de la máquina o porque el sistema de enganche puede dañar la estructura del contenedor. Las carretillas de vacíos tienen más alcance en altura, menos capacidad de carga y son más ligeras y rápidas.

Algunas de las empresas fabricantes de carretillas son:

Marca	País	Referencias
Cargotec Finland Oy	Finlandia	<a href="http://www.cargotec.com">http://www.cargotec.com</a>
Lunaei	España	<a href="http://www.lunaei.es">http://www.lunaei.es</a>
Noell Mobile Systems GmbH	Alemania	<a href="http://www.noellmobilesystems.com">http://www.noellmobilesystems.com</a>
Schults Tommy	Australia	<a href="http://www.mobiconsystems.com">http://www.mobiconsystems.com</a>

Tabla 7 Fabricantes relevantes de carretillas



### 3.4.3 “ReachStaker” o carretilla con brazo telescópico

El reachstacker (RSs, creado por Belotti en 1976) es una máquina muy versátil que se puede utilizar tanto para el almacenamiento en patio como para los movimientos de interconexión, para la recepción y entrega de camiones y ferrocarril o como equipo auxiliar de apoyo al resto.

Este equipo es resultado de la especialización de las carretillas elevadoras, con una pluma telescópica inclinada de la que se sujeta el spreader (ver Figura 20). Respecto a las carretillas tradicionales los reachstackers tienen más capacidad de carga, mejor accesibilidad a los contenedores apilados, mayor estabilidad y son más versátiles.

Así, pueden alcanzar los contenedores situados en la segunda fila de la pila siempre y cuando se encuentren como mínimo a una altura por encima de los de la primera, y en el caso de contenedores vacíos hasta la tercera fila si se encuentran a una altura o más por encima de los de la segunda fila.



Figura 20 Reach Staker.  
Fuente: FEPORTS

El fabricante Liebherr ha diseñado y fabricado un reachstacker con el brazo telescópico curvo, que mejora aún más la accesibilidad a los contenedores de segunda y tercera fila reduciendo el número de remociones (ver Figura 21)

En las terminales que utilizan reachstackers como equipo de patio, las pilas de contenedores llenos tienen habitualmente 3 contenedores de ancho. Sin embargo, la densidad superficial (TEUs/ha) de estas terminales sigue siendo bastante reducida, pese a que se duplica la anchura de bloque respecto a la de las terminales de carretillas.

Las reachstackers pueden considerarse como una alternativa de equipo en una terminal interior de contenedores puesto que se utilizan como maquinaria de almacenamiento, para el traslado de contenedores entre muelle y patio y para el resto de movimientos de interconexión.

Además se emplean en la recepción y entrega terrestres tanto de camiones como del ferrocarril.



Figura 21 Reach Staker con brazo telescópico curvo.  
Fuente: (Monfort et al, 2011)

Los fabricantes más relevantes son:

Marca	País	Referencias
CVS Ferrari	Italia	<a href="http://www.cvsferrari.com">www.cvsferrari.com</a>
Fantuzzi	Italia	<a href="http://www.fantuzzi-iberia.com">www.fantuzzi-iberia.com</a>
Kalmar Industries	Suecia	<a href="https://www.kalmarglobal.com">https://www.kalmarglobal.com</a>
Liebherr	Alemania	<a href="http://www.liebherr.ca/CH/en-GB/products_ca-ch.wfw/id-2548-0/measure-metric">http://www.liebherr.ca/CH/en-GB/products_ca-ch.wfw/id-2548-0/measure-metric</a>
Linde	Alemania	<a href="http://www.linde-mh.es">www.linde-mh.es</a>
SMV Konecranes	Suecia	<a href="http://www.kclifttrucks.com">www.kclifttrucks.com</a>

Tabla 8 Fabricantes relevantes de Reach Stakers

### 3.4.4 Plataformas

Estos son camiones con remolque especialmente diseñados para trabajar en la terminal. El remolque tiene forma de bandeja para poder encajar los contenedores fácilmente (ver Figura 22). La función de las plataformas es transportar los contenedores de un lado a otro de la terminal.



Figura 22 Una ReachStacker posando un contenedor sobre una plataforma  
Fuente: FEPORTS

En las terminales que utilizan como equipo de patio plataformas, los contenedores se almacenan sobre plataformas dispuestas como si se tratara de un aparcamiento de vehículos

En estas terminales la operación de descarga se desarrolla de modo que las grúas de muelle descargan los contenedores directamente sobre las plataformas. Una cabeza tractora remolca la plataforma cargada hasta el patio donde la aparca y después se dirige a un parking de plataformas vacías, donde engancha otra y la traslada a pie de grúa de muelle cerrando el ciclo.

Este sistema utiliza mucho espacio porque no se pueden apilar los contenedores en altura, se necesitan viales anchos que permitan la

maniobra de aparcar la plataforma cargada y además hace falta una zona de almacenamiento de plataformas vacías, por lo que la densidad superficial (TEUs/ha) se ve muy reducida. Por otro lado, y pese a que el grado de tecnificación requerido es bajo, la inmovilización de las plataformas en patio incrementa considerablemente el coste del almacenamiento.

Tradicionalmente este sistema se ha utilizado en terminales con mucho espacio o donde el coste del suelo es barato. Era el equipo más empleado en las terminales portuarias de Estados Unidos, aunque actualmente está perdiendo cuota frente a otros sistemas de manipulación y almacenamiento de contenedores en las terminales portuarias.

### **3.4.5 Grúa pórtico móvil sobre neumáticos (RTG – Rubber Tyred Gantry Crane)**

Los equipos Rubber Tyred Gantry Crane (RTG), o grúas pórtico sobre neumáticos, son grúas autopropulsadas que se desplazan siguiendo trayectorias rectilíneas sobre las pilas de contenedores que ellas mismas van formando entre sus patas.

En su presentación habitual, los RTGs apilan los contenedores entre 3 y 5 alturas y trabajan sobre bloques de 6 o 7 filas de contenedores de ancho más un carril adicional por donde circulan tanto camiones externos como internos (véase Figura 23).

Para la entrega o recogida de un contenedor, los camiones circulan por ese carril, se colocan al costado de la pila y esperan a que el pórtico realice la operación.

Las terminales que utilizan RTGs como equipo de almacenamiento suelen emplear como equipos de interconexión, por ejemplo entre el muelle y el patio, cabezas tractoras más plataformas, aunque también reachstackers y otros tipos de carretillas

En el patio de una terminal de RTGs, las pilas formadas por estos equipos se suelen disponer paralelas al muelle y separadas por una distancia suficiente para permitir el movimiento de los equipos de interconexión. Cada cierta distancia los bloques de contenedores se interrumpen para dar paso a viales de circulación que permiten el tráfico perpendicular a las pilas.

Con este sistema se obtiene una densidad de apilado alta, que aumenta conforme crece el tamaño de la pila.



Figura 23 Patio de RTGs, Noatum Container Terminal Valencia (Valencia - España)

Fuente: Fundación ValenciaPort

### 3.4.6 Grúa pórtico móvil sobre railes (RMG – Rail Mounted Gantry Crane)

El Rail Mounted Gantry Crane (RMG) es una grúa pórtico de forma similar al RTG pero que se desplaza sobre raíles (véase Figura 24). Generalmente tiene dimensiones superiores a las de los pórticos sobre neumáticos. Además de en terminales portuarias, este sistema se utiliza en muchas terminales interiores (puertos secos), y en terminales ferroviarias.

Como los RTGs, los RMGs también suelen atender en la pila a los camiones externos para la operativa de recepción y entrega. En este caso los vehículos circulan por viales que, normalmente, se disponen en el costado exterior de las patas de los RMG, por lo que las vigas de estos equipos sobresalen en voladizo (cantilever) para poder situar el spreader sobre los camiones.

Las pilas de los patios de RMGs tienen una anchura de entre 8 y 12 contenedores o incluso mayor, y una altura entre 4 y 5 contenedores. Debido a dicho tamaño de bloque una de las principales ventajas de los RMG es el alto aprovechamiento de la superficie de patio.



Figura 24 Imagen de una Rail Mounted Gantry Crane (RMG)  
Fuente: [www.reescrane.com](http://www.reescrane.com)



### 3.4.7 Máquinas y Equipos automáticos

Todos los equipos y máquinas anteriormente descritos son susceptibles de ser automatizados de forma que su conducción no sea manual. En el caso de los RMGs (Rail mounted gantries), su versión automatizada se llama Automated Stacking Cranes (ASCs).

Estos equipos funcionan sin manipulador en la propia máquina y tienen dimensiones similares a un RTG, entre 6 y 10 contenedores de anchura y 4 o 5 más uno, de altura (ver Figura 25).

Por otro lado, la versión automatizada de los Shuttle Carriers se llama AGVs (Automated Guided Vehicles) (Ver Figura 26)



Figura 25 RMGs automáticos (ASCs), APM Terminals Virginia (Port of Virginia - EE.UU.)

Fuente: Konecranes Ausio SLU



Figura 26 Imagen de un AGV (Automated Guided Vehicle).

Fuente: FEPORTS

### **3.5 Layouts en una terminal interior de contenedores en función de las máquinas y equipos utilizados**

Al tratarse de una terminal de interior hay factores importantes en el tema de puertos que no van a ser de nuestro interés. De hecho paralelo y horizontal carece de sentido y el que sea en forma de L,  $\Pi$ ,  $\pi$  o  $\Psi$  también. (Wiese et al. 2013)

Lo que sí hay que considerar es que el layout de la terminal mantiene una relación biunívoca con la maquinaria y equipos que se utilizan ya que estos van a permitir el apilamiento en distintos niveles, filas y las distancias entre los contenedores y número de tramos (bays). (Monfort et al, 2011).

Dentro de los aspectos a tener en cuenta están el control de los tiempos de almacenaje, la situación estratégica de los contenedores que permita una correcta entrada y salida de los mismos, así como la compatibilidad de las sustancias almacenadas en una determinada área del almacén.

Dado que existe una relación entre el layout o configuración de una terminal interior de mercancías peligrosas y el tipo de maquinaria que se utiliza, vamos a describir las distintas opciones que se plantean.

Para el diseño del layout vamos a considerar las máquinas de patio que utiliza la terminal dado que éstas son las que definen la configuración del mismo. (Lee & Kim 2013)

Igualmente el modelo considera que en el patio sólo se utiliza un tipo de máquina, y por tanto la configuración del layout será la asociada a este tipo de máquina

### 3.5.1 Layout en terminales con Straddle Carriers

Las terminales que utilizan Straddle Carriers como equipos de patio dan lugar a configuraciones de layouts con filas de 1 contenedor de ancho y alturas de 3 contenedores (Monfort et al, 2011)

Entre las pilas se deja un pasillo de 1,5 a 2,0 metros (mínimo 1,2 m) para las patas de los straddle carriers, y en los extremos transversales a la disposición de las filas es necesario dejar un pasillo de al menos 10 m., que es la longitud de la straddle carrier con el fin de que el equipo pueda salir de una fila para meterse en otra. (véase Figura 27)

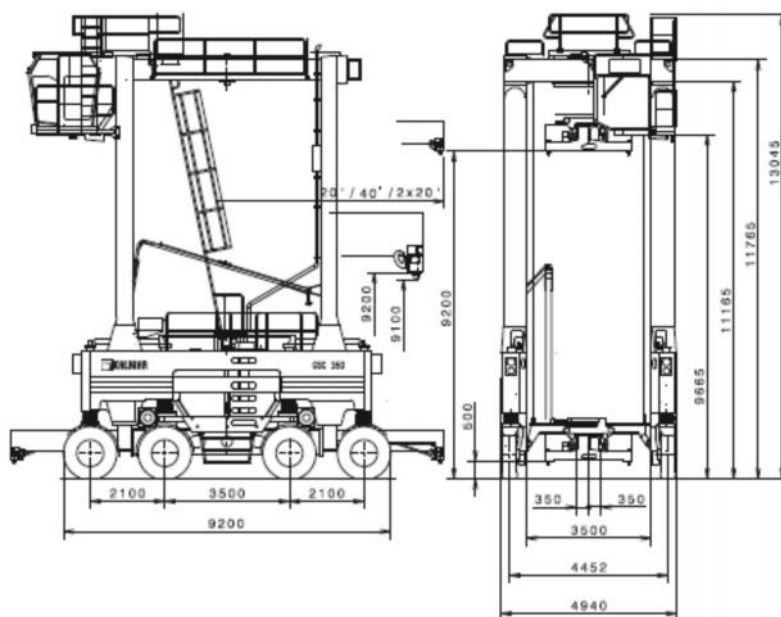


Figura 27 Dimensiones de una Straddle Carrier  
Fuente: <https://www.kalmarglobal.com/equipment/>

En la figura siguiente se observa una vista aérea de una configuración de layout de una terminal cuando se utilizan straddle carriers como equipos de patio:



Figura 28 Configuración de layout utilizando straddle carriers  
Fuente: Google Earth. Terminal de Contenidors de Barcelona, SL (TCB)  
Muelle Sur

Las straddle carriers pueden servir también como equipos de interconexión en una terminal interior.

### 3.5.2 Layout en terminales con carretillas

Las terminales que utilizan carretillas como equipos de patio pueden confeccionar filas de hasta 2 contenedores de ancho y 5-7 alturas (Monfort et al, 2011).

Entre cada volumen de pilas de contenedores es necesario dejar una distancia de al menos 10 metros con el fin de permitir la maniobra de la carretilla para ponerse en posición perpendicular a la pila de contenedores. Esta misma circunstancia se repite para los layouts asociados a las máquinas reachstackers cuando se usan como equipos de patio (ver figura 30).

En la siguiente imagen observamos un patio con un layout propio de una carretilla utilizada como equipo de patio:

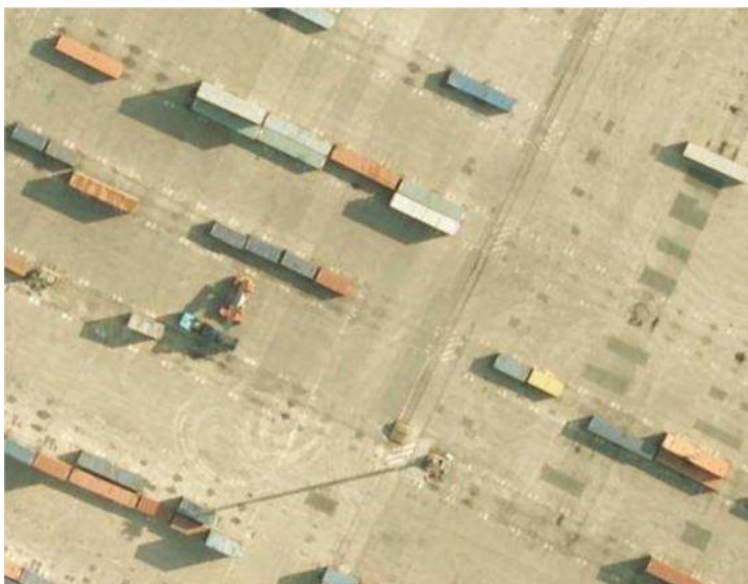


Figura 29 Configuración de layout utilizando carretillas  
Fuente: Google Earth. Terminal de Dunkerque.

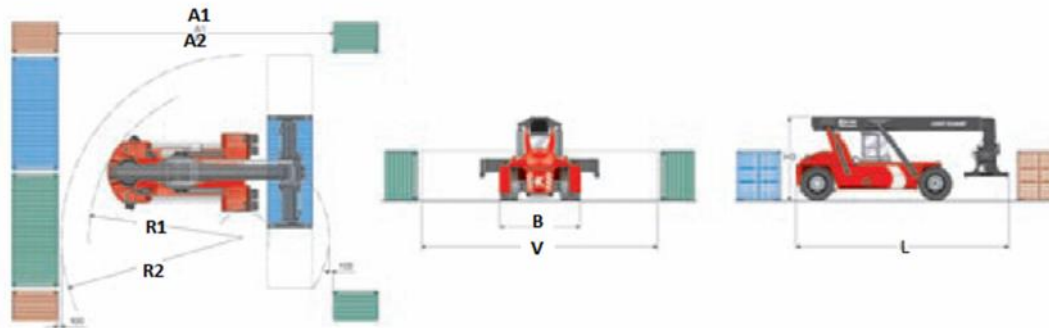
Las carretillas pueden utilizarse también como equipos de interconexión.

### **3.5.3 Layout en terminales con Reach Stackers**

Cuando se utilizan reachstackers como equipos de patio permiten configuraciones de layouts con filas de 3-4 contenedores de ancho y alturas de 5-7 contenedores al igual que las carretillas (Monfort et al, 2011)

Entre cada volumen de pilas de contenedores es necesario dejar una distancia de al menos 10 metros con el fin de permitir la maniobra de la reachstacker para ponerse en posición perpendicular a la pila de contenedores

Las reachstackers pueden servir también de máquinas de interconexión entre el patio y el camión o el tren.



### Dimensiones

Modelo	Aisle width (mm)		Turning radius (mm)		Main dimensions (mm)						Service weight (kg)
	A1 - 20 ft	A2 - 40 ft	R1 - 20 ft	R3 - 40 ft	B	V	L	H3	Clearance	Wheels	
DRF420-60SS	11200	13600	8100	9400	4150	6055-12185	11200	4500	250	18.00x25/36	64500
DRF450-60SS	11200	13600	8100	9400	4150	6055-12185	11200	4500	250	18.00x25/40	66400
DRF450-60SSX	11200	13600	8100	9400	4150	6055-12185	11200	4600	300	18.00x33/36	76500
DRF420-65SS	11600	13600	8500	9400	4150	6055-12185	11700	4500	250	18.00x25/36	65000
DRF420-65S6	11900	13900	8500	9450	4150	6055-12185	12000	4500	250	18.00x25/36	66200
DRF450-65SS	11600	13600	8500	9400	4150	6055-12185	11700	4500	250	18.00x25/40	66800
DRF450-65S6	11900	13900	8500	9450	4150	6055-12185	12000	4500	250	18.00x25/40	67800
DRF450-65SSX	11600	13600	8500	9400	4150	6055-12185	11700	4600	300	18.00x33/36	76300
DRF450-65S6X	11900	13900	8500	9450	4150	6055-12185	12000	4600	300	18.00x33/36	77200
DRF420-70SS	12100	13600	9000	9400	4150	6055-12185	12200	4500	250	18.00x25/36	65800
DRF450-70SSX	12100	13600	9000	9400	4150	6055-12185	12200	4700	300	18.00x33/36	77800
DRF450-70SSXS	12100	13600	9000	9400	4150	6055-12185	12200	4700	300	18.00x33/36	79300
DRF450-75SSXS	12500	13600	9400	9400	4150	6055-12185	12700	4750	300	18.00x33/36	82100
DRD450-80S4X	14900	15300	11000	11250	4500	6055-12185	14200	5150	425	21.00x35/36	102600
DRD450-80S4XS	14900	15300	11000	11250	4500	6055-12185	14200	5150	425	21.00x35/36	103100
DRD450-80SSXS	Information available on request										

Figura 30 Dimensiones de radios de giro de reachstackers y carretillas

Fuente: <http://www.kalmarind.nl>

### 3.5.4 Layout en terminales con plataformas

Las plataformas no permiten el apilamiento de los contenedores, por tanto dan lugar a filas de 1 contenedor de ancho y 1 contenedor de alto. Por otro lado, son necesarias tantas plataformas como contenedores se encuentren almacenados en el patio. (Monfort et al, 2011)

Precisan de un equipo de interconexión que traslade el contenedor de la unidad de transporte externo a la terminal interior (ferrocarril o camión) a la plataforma

En la siguiente imagen observamos una vista aérea del layout derivado del uso de plataformas como equipos de patio para la manipulación de contenedores:



Figura 31 Configuración de layout utilizando plataformas  
Fuente: Google Earth. Terminal de Eagle Marine Los Angeles



### 3.5.5 Layout en terminales con grúas pórtico (RTGs y RMGs)

Las terminales que utilizan grúas pórtico para la manipulación de los contenedores en el patio, tanto si se trata de RTGs (rubber tyred gantry cranes) como RMGs (rail mounted gantry cranes), son capaces de almacenar de media 8 contenedores por fila con alturas de 5 contenedores (Monfort et al, 2011).

En la siguiente vista aérea observamos un layout propio de la utilización de grúas pórtico



Figura 32 Configuración de layout utilizando grúas pórtico  
Fuente: Google Earth. Terminal CTA – Altenwerder (Hamburgo)

Estos equipos de patio no necesitan de máquinas de interconexión entre el patio y los vehículos de entrada y salida de contenedores de la terminal interior.



**CAPÍTULO 4. REQUISITOS LEGALES Y  
BUENAS PRACTICAS APLICABLES A UNA  
TERMINAL INTERIOR DE CONTENEDORES**



## **4.1 Introducción**

Otros factores que pueden influir en el diseño del layout de una terminal de contenedores con mercancías peligrosas son criterios de seguridad, protección y medio ambiente

Estos criterios cobran especial relevancia al tratarse de una terminal donde se manipulan sustancias peligrosas.

Vamos a realizar un análisis de todas las reglamentaciones y condicionantes de seguridad, protección y medio ambientales aplicables a una terminal interior de contenedores, lo que nos permitirá posteriormente identificar y ponderar adecuadamente los criterios que intervienen en el proceso de jerarquización de alternativas de maquinarias y equipos utilizados en el patio de la terminal

El layout del patio vendrá condicionado biunívocamente por ese proceso de jerarquización holística de las máquinas y equipos utilizados en la terminal.

## **4.2 Requisitos legales y buenas prácticas relacionados con la seguridad en la manipulación de mercancías peligrosas**

### **4.2.1 Clasificación de las mercancías peligrosas**

Tras la segunda guerra mundial, la ONU (Organización de las Naciones Unidas) crea un Comité de Expertos relativo al transporte de mercancías peligrosas que elabora unas recomendaciones sobre como transportar las mercancías peligrosas de forma segura. Estas recomendaciones se conocen con el nombre de “Libro Naranja de la ONU”

Estas recomendaciones están destinadas a los gobiernos y a las organizaciones internacionales relacionadas con la seguridad en el transporte de Mercancías Peligrosas. La primera versión se publicó en 1956.

De este libro naranja de la ONU surgen los distintos códigos internacionales para el transporte de mercancías peligrosas por los distintos modos de transporte:

- IMDG (Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas)
- ADR (Acuerdo Europeo Relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera)
- RID Código Internacional de transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril
- IATA – OACI Instrucciones técnicas internacionales para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea

Además dentro del territorio Español es importante considerar

para el transporte de mercancías peligrosas la siguiente normativa:

- RD 97/2014, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.
- Ley 9/2013, de ordenación de Transportes Terrestres
- Orden FOM 2861/2012, sobre el documento de control de transporte

Clasificar e identificar una sustancia o artículo como peligroso es una de las partes fundamentales en el sistema implementado para las Naciones Unidas.

Por ejemplo, hasta que una correcta clasificación e identificación no se haya efectuado, el expedidor o transportista no podrá realizar ninguna acción con la materia.

La clasificación, seguida de la identificación de la sustancia por un nombre y un número, son vitales para seguir con el resto de trámites.

El código IMDG determina en su parte 2.0.2.1 que las mercancías peligrosas se asignan a sus correspondientes números ONU y nombre de expedición en función de su clasificación de riesgo y de su peligrosidad.

Los números ONU, según lo dispuesto en los distintos códigos descritos anteriormente, se relacionan de la siguiente manera:

- Hasta el 0999 son adjudicados a las sustancias explosivas aunque solo alrededor de 500 están asignados actualmente

- Del 1000 al 3468 al resto de clases y son sustancias químicas y familias químicas

Además las mercancías peligrosas se encuentran clasificadas en las clases de peligro que se presentan en la siguiente tabla:

Clases de mercancías peligrosas para el transporte
Clase 1: Materias y objetos explosivos
Clase 2: Gases
Clase 2.1. Gases inflamables
Clase 2.2. Gases no inflamables no tóxicos
Clase 2.3. Gases tóxicos
Clase 3: Líquidos inflamables
Clase 4: Sólidos inflamables, sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables
Clase 4.1: Materias sólidas inflamables, materias autoreactivas y materias explosivas desensibilizadas sólidas
Clase 4.2: Materias que pueden experimentar inflamación espontánea
Clase 4.3: Materias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables
Clase 5.1: Materias comburentes
Clase 5.2: Peróxidos orgánicos
Clase 6.1: Materias tóxicas
Clase 6.2: Materias infecciosas
Clase 7: Materias radioactivas
Clase 8: Materias corrosivas
Clase 9: Materias y objetos que presentan peligros diversos

Tabla 9 Clasificación de mercancías peligrosas para el transporte

Esta clasificación se realiza en base a los peligros de la mercancía transportada. Vamos a describir cada una de estas



clases o peligros:

#### 4.2.1.1 Clase 1: Materiales y objetos explosivos

Son materias y objetos de la clase 1: (ADR 2015. Cap.2.2.1.1)

a.-) Las materias explosivas: materias sólidas o líquidas (o mezclas de materias) que, por reacción química, pueden desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daños a su entorno.

Materias pirotécnicas: materias o mezclas de materias destinadas a producir un efecto calorífico, luminoso, sonoro, gaseoso o fumígeno o una combinación de tales efectos, como consecuencia de reacciones químicas exotérmicas autosostenidas no detonantes.

b.-) Objetos explosivos: objetos que contengan una o varias materias explosivas o pirotécnicas.

c.-) Objetos explosivos: objetos que contengan una o varias materias explosivas o pirotécnicas.

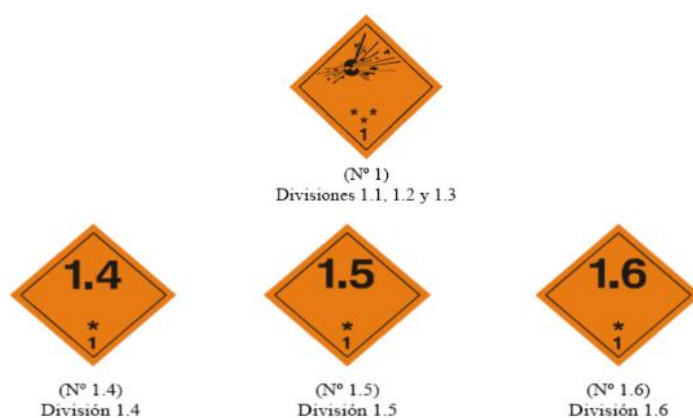


Figura 34 Etiquetas para la clase 1. Explosivos

#### 4.2.1.2 Clase 2: Gases

Por gas se entenderá una materia que: (ADR 2015. Cap.2.2.2.1)

- a) a 50 °C tenga una tensión de vapor superior a 300 kPa (3 bar); o
- b) esté por completo en estado gaseoso a 20 °C, a la presión normalizada de 101,3 kPa.

Y que presente alguno de los siguientes peligros:

- A - asfixiante;
- O - comburente;
- F - inflamable;
- T - tóxico;
- TF - tóxico, inflamable;
- TC - tóxico, corrosivo;
- TO - tóxico, comburente;
- TFC - tóxico, inflamable, corrosivo;



Figura 35 Etiquetas de la Clase 2. Gases

#### 4.2.1.3 Clase 3: Líquidos inflamables

La clase 3 cubre las materias y los objetos que: (ADR 2015. Cap. 2.2.3.1)

- a.-) son productos líquidos a temperatura y presión ambiente.
- b.-) tengan, a 50 °C, una tensión de vapor máxima de 300 kPa (3 bar) y no sean completamente gaseosos a 20 °C y a la presión estándar de 101,3 kPa; y
- c.-) tengan un punto de inflamación máximo de 60 °C



Figura 36 Etiqueta Clase 3. Líquidos inflamables

#### 4.2.1.4 Clase 4.1: Materia sólidas inflamables

Esta clase incluye (ADR 2015. Cap. 2.2.41.1) a las materias y objetos inflamables y las materias explosivas desensibilizadas que son materias sólidas, así como las materias autorreactivas, tanto líquidas como sólidas.



Figura 37 Etiqueta clase 4.1. Sólidos inflamables

#### **4.2.1.5 Clase 4.2: Materia que pueden experimentar inflamación espontánea**

En esta clase se incluyen: (ADR 2015. Cap. 2.2.42.1)

- Las materias que pueden experimentar inflamación espontánea (pirofóricas): son materias, mezclas y disoluciones (líquidas o sólidas) que en contacto con el aire, incluso en pequeñas cantidades, se inflaman en período de 5 minutos.
- Las materias que experimentan calentamiento espontáneo: son materias, objetos, mezclas y disoluciones que al contacto con el aire, sin aportación de energía, son susceptibles de calentarse. Estas materias únicamente pueden inflamarse en apreciables cantidades (varios kilogramos) y después de un largo período de tiempo (varias horas o días).



Figura 38 Etiqueta de la clase 4.2. Inflamación espontánea

#### **4.2.1.6 Clase 4.3: Materia que en contacto con el agua desprenden gases inflamables**

Son sustancias que, por reacción con el agua, desprenden gases inflamables que pueden formar mezclas explosivas con el aire, así como los objetos que contienen materias de esta clase. (ADR 2015. Cap. 2.2.43.1)

Pueden ser orgánicas, combinaciones organometálicas, materias en disolventes orgánicos e inorgánicas.



Figura 39 Etiqueta clase 4.3. Inflamables en contacto con el agua

#### 4.2.1.7 Clase 5.1: Materias comburentes

Son materias que, sin ser necesariamente combustibles ellas mismas, pueden, por lo general al desprender oxígeno, provocar o favorecer la combustión de otras materias y los objetos que los contengan. (ADR 2015. Cap. 2.2.51.1)



Figura 40 Etiqueta Clase 5.1. Comburentes

#### 4.2.1.8 Clase 5.2: Peróxidos Orgánicos

Los peróxidos orgánicos son materias que contienen la estructura bivalente -O-O- y pueden ser consideradas como derivados del peróxido de hidrógeno, en el cual uno o dos de los átomos de hidrógeno son sustituidos por radicales orgánicos

Los peróxidos orgánicos están sujetos a la descomposición exotérmica a temperaturas normal o elevada. La descomposición puede producirse bajo el efecto del calor, del contacto con impurezas (por ejemplo ácidos, compuestos de metales pesados, aminas, etc.), del frotamiento o del choque. (ADR 2015. Cap. 2.2.52.1)



Figura 41 Etiquetas de la clase 5.2. Peróxidos orgánicos

#### 4.2.1.9 Clase 6.1: Materias tóxicas

La clase 6.1 cubre las materias tóxicas de las que, por experiencia, se sabe o bien cabe admitir, en base a experimentos realizados sobre animales, en cantidades relativamente pequeñas y por una acción única o de corta duración, que pueden dañar a la salud del ser humano o causar su muerte por inhalación, absorción cutánea o ingestión. (ADR 2015. Cap. 2.2.61.1)



Figura 42 Etiqueta de la Clase 6.1. Tóxicos

#### 4.2.1.10 Clase 6.1: Materias infecciosas

La clase 6.2 cubre las materias de las que se sabe o de las que hay razones para creer que contienen agentes patógenos. Los agentes patógenos se definen como microorganismos (incluidas las bacterias, los virus, los “ricketts”, los parásitos y los hongos) y otros agentes tales como los priones, que pueden provocar enfermedades a los animales o a los seres humanos. (ADR 2015. Cap. 2.2.62.1)



Figura 43 Etiqueta de la clase 6.2. Infecciosos

#### 4.2.1.11 Clase 7: Materias radioactivas

Por materias radiactivas se entiende cualquier materia que contenga radionucleidos cuyas actividades másicas y total en el envío sobrepasan unos valores determinados en el código ADR (ADR 2015. Cap. 2.2.7.1)

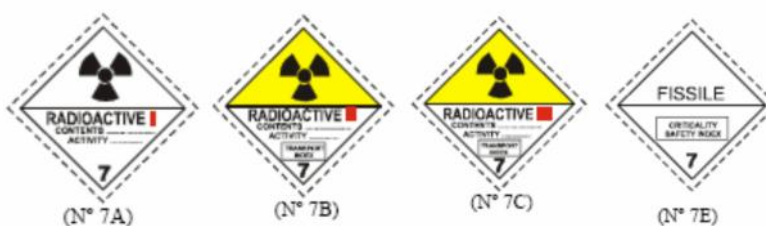


Figura 44 Etiquetas de la clase 7. Radioactivos

#### 4.2.1.12 Clase 8: Materias corrosivas

La clase 8 abarca las materias y objetos que por su acción química, dañan el tejido epitelial de la piel y las mucosas al entrar en contacto con ellas, o que, en caso de fuga, puedan originar daños a otras mercancías o a los medios de transporte o destruirlos. El título de la presente clase se refiere también a las materias que sólo producen un líquido corrosivo al entrar en contacto con el agua o que, con la humedad natural del aire, produzcan vapores o neblinas corrosivos. (ADR 2015. Cap. 2.2.8.1)



Figura 45 Etiqueta de la clase 8. Corrosivos

#### 4.2.1.13 Clase 9: Materias y objetos que presentan peligros diversos

En el título de la clase 9 se incluyen materias y objetos que, a lo largo del transporte, supongan un peligro diferente de los que contemplan las restantes clases. (ADR 2015. Cap. 2.2.9.1)



Figura 46 Etiqueta de la clase 9. Peligros diversos



## **4.2.2 Requisitos de segregación**

Las clases para el transporte de mercancías peligrosas descritas anteriormente afectan al diseño del layout de una terminal interior al tener que cumplir con unos requisitos de segregación que evite reacciones químicas incompatibles en caso de derrame, o que evite un incremento del riesgo en caso de un incendio (por ejemplo una nube con vapores tóxicos en caso de un incendio en la terminal)

Aunque el caso que nos ocupa es el de terminales terrestres de contenedores que contengan mercancías peligrosas, y a falta de una legislación específica para ellas, se tomará como referente la información correspondiente a terminales marítimas/portuarias de contenedores

Según el Art. 3.31 del Real Decreto 145/1989, de 20 de enero, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de mercancías peligrosas en los puertos, se entiende por segregación *“La separación que debe efectuarse entre mercancías peligrosas a fin de evitar riesgos adicionales por influencia de unas sobre otras”*.

### **4.2.2.1 La segregación en áreas portuarias en España**

El Título IV del Real Decreto 145/1989 por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas en los Puertos, hace referencia expresa a la manipulación de contenedores, vehículos cisterna o tanques portátiles que contengan mercancías peligrosas. Respecto a la segregación de contenedores, el artículo 112 de dicho Real Decreto dice: *“Al depositar, almacenar o aparcar contenedores, cisternas, vehículos o tanques portátiles cargados con mercancías peligrosas, habrán de separarse entre sí según las clases de*

*las que respectivamente contengan, manteniendo las distancias que se señalan en la tabla que figura a continuación*”. (ver tabla 10)

Respecto a la manipulación de explosivos, ha de atenerse asimismo a las recomendaciones del Acuerdo Europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR).

Para los contenedores que contengan mercancías peligrosas de más de una clase, se aplicarán las prescripciones de segregación que sean más rigurosas.

### Cuadro de segregación de contenedores

Clase	1.1	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3	4.1	4.2 S	4.2 L	4.3	5.1 S	5.1 L	5.2	6.1 S	6.1 L	6.2	7	8 S	8 L	9
1.1 1.2 1.5	*	*	*	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	4	2	4	4	X
1.3	*	*	*	4	2	2	4	3	3	3	4	4	4	4	2	2	4	2	2	2	X
1.4	*	*	*	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	X	X	4	2	2	2	X
2.1 Gases inflamables	4	4	2		X	X	2	1	2	2	X	2	2	2	X	X	4	2	X	1	X
2.2 (No tóxicos. No inflamables)	2	2	1	X		X	1	X	X	1	X	X	X	1	X	X	2	1	X	X	X
2.3 (Tóxicos)	2	2	1	X	X		2	X	1	2	X	X	X	2	X	X	2	1	X	X	X
3.	4	4	2	2	1	2		X	2	2	1	2	2	2	X	X	3	2	X	X	X
4.1	4	3	2	1	X	X	X		X	1	X	1	2	2	X	X	3	1	X	1	X
4.2 (Sólidos)	4	3	2	2	X	1	2	X		X	X	2	2	2	X	X	3	1	X	1	X
4.2 (Líquidos)	4	3	2	2	1	2	2	1	X		1	2	2	2	X	X	3	2	1	1	X
4.3	4	4	2	X	X	X	X	X	1		1	2	2	X	X	2	1	X	2	X	
5.1 (Sólidos)	4	4	2	2	X	X	2	1	2	2	1		X	2	X	1	3	1	1	2	X
5.1 (Líquidos)	4	4	2	2	X	X	2	2	2	2	X		2	1	1	3	1	2	2	X	
5.2	4	4	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2		1	1	3	2	2	2	X
6.1 (Sólidos)	2	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1		X	1	X	X	X	X
6.1 (Líquidos)	2	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	1	X		1	X	X	X	X
6.2	4	4	4	4	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	1	1		3	3	3	X
7.	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	X	X	3		X	2	X
8 (Sólidos)	4	2	2	X	X	X	X	X	X	1	X	1	2	2	X	X	3	X		X	X
8 (Líquidos)	4	2	2	1	X	X	X	1	1	1	2	2	2	2	X	X	3	2	X		X
9.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Clave 1. No es necesaria separación alguna.

Claves 2 y 3. El espacio entre ambos contenedores debe ser el correspondiente a una distancia similar a la longitud del contenedor.

Clave 4. Una separación no inferior a 24 metros.

Salvo para las clases 1 y 7, no será necesaria separación alguna, si los contenedores o cisternas se encuentran sobre un camión, o sobre plataformas con ruedas con tractor disponible para evacuarlos rápidamente.

Clave \*. Por referirse exclusivamente a explosivos, cuyo almacenamiento en los puertos esta reducido a la división 1.4 municiones de seguridad, no resulta por tanto de interés a efectos de este capítulo.

Clave X. No se establece recomendación general. Consúltese en cada caso la ficha del Código IMDG correspondiente.

No deben apilarse los contenedores abiertos.

Tabla 10 Cuadro de segregación de contenedores por clases en áreas portuarias

Los contenedores, contenedores cisterna y cisternas portátiles que contengan mercancías peligrosas no deben estibarse unos encima de otros, apilarse o superponerse. Si los distintos contenedores transportan mercancías peligrosas de una misma clase sí que es posible su apilamiento o superposición. Esto último no aplica a contenedores con mercancías de la Clase 8 diferentes (sustancias corrosivas). (Ver Figura 47)

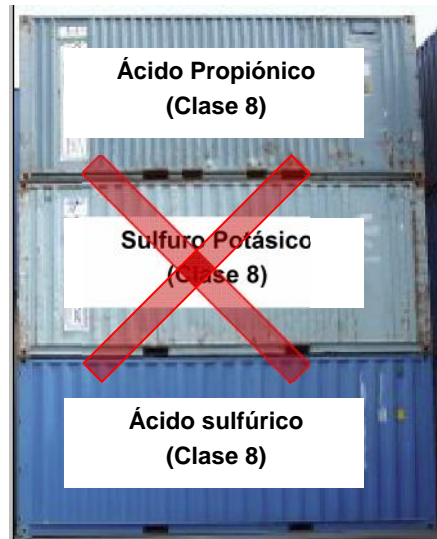
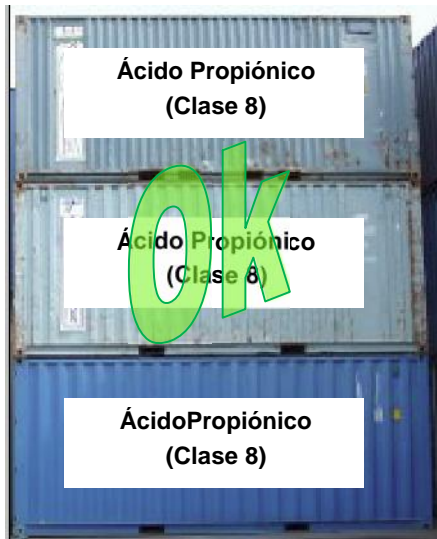


Figura 47 Formas de apilar contenedores en áreas portuarias según la clase de mercancía peligrosa

En el caso que se muestra en la imagen siguiente, donde se apila un contenedor con sustancias corrosivas encima de un contenedor con mercancías inflamables, el riesgo se está multiplicando en caso de un vertido en el contenedor de sustancias corrosivas. Este apilamiento no está permitido según la legislación de seguridad aplicable a las áreas portuarias.

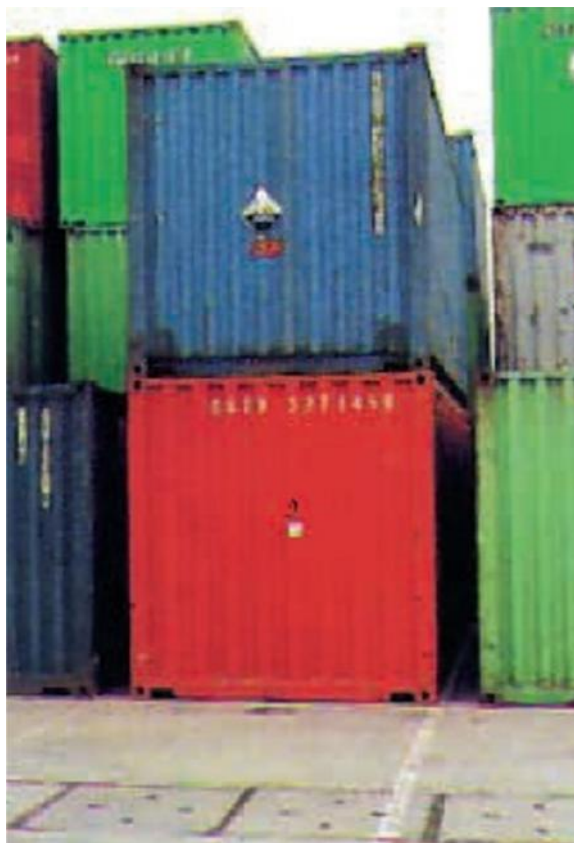


Figura 48 Contenedor de producto corrosivo sobre producto inflamable.

Fuente: José Luis García López en Mafre Seguridad Núm. 64, 1996

Uno de los elementos más importantes a la hora de diseñar y dimensionar una terminal de transferencia de contenedores debe ser la segregación de las mercancías peligrosas en el área de almacenamiento o patio.

Se ha realizado una prospección legislativa en cuanto a la normativa de segregación por clases aplicables al almacenamiento de productos químicos en los países Europeos de referencia en cuanto a la seguridad química.

Estas normativas sectoriales, sin embargo, nunca hablan específicamente de almacenamiento de contenedores de mercancías peligrosas sino que se refieren a mercancías peligrosas envasadas por lo que, mediante el estudio de la normativa, extraeremos una serie de criterios generales a tener en cuenta a la hora de almacenar mercancías peligrosas containerizadas.

Las legislaciones que se han tomado como base de este estudio son las referentes a los siguientes países:

#### **4.2.2.2 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en España**

La normativa que regula el almacenamiento de mercancías peligrosas en España es el R.D.379/2001 y sus Instrucciones técnicas complementarias (ITC MIE-APQ1 hasta ITC MIE-APQ 9).

Según esta legislación, debemos tener en cuenta las siguientes disposiciones en cuanto a segregación de mercancías peligrosas en una terminal interior de contenedores:

- Los peróxidos orgánicos líquidos (sustancias de la clase 5.2 del ADR), los productos corrosivos (sustancias de la clase 8 del ADR) y los bifenilos policlorados, no podrán almacenarse en un cubeto que contenga líquidos combustibles que no tengan, además, estas propiedades, a menos que se adopten las medidas necesarias para que, en caso de siniestro, no provoquen reacciones peligrosas.
- Los líquidos combustibles no se almacenarán conjuntamente con productos comburentes
- Los productos de las clases T(tóxicos) y T+(muy tóxicos) no estarán en el mismo sector de almacenamiento que los siguientes productos:
  - Los incluidos en las clases 2, 4.2, 4.3, 5.1 y 5.2 del Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR) y los abonos que contengan nitrato amónico.
  - Como excepción a lo indicado en el párrafo anterior, los productos de las clases T y T+ que además sean



comburentes podrán estar en el mismo sector que los productos únicamente comburentes.

- Los extremadamente inflamables, fácilmente inflamables o inflamables, cuando los de las clases T y T+ no sean combustibles. No se incluyen en esta prohibición los preparados acuosos tóxicos o muy tóxicos que contengan productos combustibles de las clases T y T+.
- Los que puedan facilitar una rápida generación y/o propagación de incendios (por ejemplo, papel, tejidos, madera, etc.)
- Los medicamentos, alimentos y sus aditivos, piensos y sus aditivos, artículos de consumo y sus aditivos y productos cosméticos

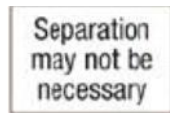
#### 4.2.2.3 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en el Reino Unido (UK)

El almacenamiento de sustancias químicas peligrosas está regulado por el llamado HSG-71 mediante el cual se regula todas las condiciones a las que tiene que estar sometido el almacenamiento de dichas sustancias.

La segregación debe tener en cuenta las disposiciones de la tabla de la página siguiente, donde las leyendas son las siguientes:



No deben ser almacenadas en el mismo sector



Se pueden almacenar sin separación



Materias separadas por, al menos, 3 metros



El valor inferior se refiere al almacenamiento exterior de cilindros de gas. Donde hay gases inflamables no licuados la separación puede reducirse de 3 a 1 metro

CLASS	CLASS	2	3	4	5	6	8
2		KEEP APART	Segregate from	Segregate from	Segregate from	Segregate from	KEEP APART
		KEEP APART	KEEP APART	Segregation may not be necessary	Segregation may not be necessary	Segregation may not be necessary	KEEP APART
		Segregate from	KEEP APART	Segregate from	KEEP APART	Segregation may not be necessary	KEEP APART
3		Segregate from	KEEP APART	Segregate from	Segregate from	KEEP APART	KEEP APART
		Segregate from	Segregation may not be necessary	KEEP APART	Segregate from	KEEP APART	Segregation may not be necessary
		Segregate from	Segregate from	Segregate from	KEEP APART	KEEP APART	KEEP APART
		Segregate from	Segregation may not be necessary	KEEP APART	Segregate from	Segregation may not be necessary	Segregation may not be necessary
4		Segregate from	Segregation may not be necessary	Segregation may not be necessary	Segregate from	Segregate from	KEEP APART
		ISOLATE	Segregate from	ISOLATE	Segregate from	KEEP APART	KEEP APART
5		Segregate from	Segregation may not be necessary	Segregation may not be necessary	Segregate from	Segregate from	KEEP APART
		ISOLATE	Segregate from	ISOLATE	Segregate from	KEEP APART	KEEP APART
6		KEEP APART	Segregation may not be necessary	Segregation may not be necessary	KEEP APART	KEEP APART	Segregation may not be necessary
8		KEEP APART	KEEP APART	KEEP APART	Segregation may not be necessary	KEEP APART	Segregation may not be necessary

Figura 49 Tabla de segregación por clases para el almacenamiento de mercancías peligrosas en UK  
Fuente: Reglamento HSG-71 de UK

#### **4.2.2.4 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en Alemania**

La Asociación de la Industria Química de Alemania (VCI) desarrolló en el año 2005 un estudio mediante el cual las sustancias peligrosas se clasifican de acuerdo a sus características de riesgo en las diferentes clases de almacenamiento

Esta división por clases de productos toma su base en el Código ADR de transporte de mercancías peligrosas por carretera aplicable a nivel europeo pero, a diferencia de éste (con 13 clases), expande el número de clases hasta un total de 22 clases diferentes dividiendo algunas de las expuestas en el código de transporte

El almacenamiento combinado de cada una de las diferentes clases (LGK) en una sección de almacenamiento está regulado por las leyes, reglamentos y normas técnicas.

El VCI ha desarrollado sobre esta base unas normas de segregación que se muestra en la imagen de la página siguiente:

Denominación	Clase	10-13	13	12	11	10	8B	8A	7	6.2	6.1B	6.1A	5.2	5.1C	5.1B	5.1A	4.3	4.2	4.1B	4.1A	3	2B	2A	1
Sustancias explosivas	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)
Gases comprimidos, condensados y disueltos bajo presión	2A	(+)	+	+	(+)	-	+	(+)	-	-	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	(+)
Envases de gases comprimidos (envases de)	2B	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	+	
Sustancias líquidas inflamables	3	(+)	+	+	(+)	+	(+)	(+)	-	-	(+)	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)		
Sustancias sólidas inflamables	4.1A	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	(+)	(+)				
Sustancias sólidas inflamables	4.1B	+	+	+	+	+	+	+	-	-	(+)	(+)	(+)	-	(+)	(+)	+							
Sustancias inflamables espontáneas	4.2	(+)	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	+						
Sustancias que en contacto con el agua generan gases inflamables	4.3	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	+							
Sustancias con efecto inflamable (oxidante)	5.1A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+								
Sustancias con efecto inflamable (oxidante)	5.1B	(+)	+	+	(+)	(+)	+	(+)	-	-	(+)	(+)	(+)	(+)	+									
Sustancias con efecto inflamable (oxidante)	5.1C	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	(+)											
Peróxidos orgánicos	5.2	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-	-	(+)											
Sustancias tóxicas combustibles	6.1A	(+)	+	+	(+)	+	+	+	-	-	+	(+)												
Sustancias tóxicas no combustibles	6.1B	(+)	+	+	(+)	+	+	+	-	-	+													
Sustancias infecciosas	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	+														
Sustancias radioactivas	7	-	-	-	-	-	-	-	(+)															
Sustancias corrosivas combustibles	8A	+	+	+	+	+	+	+																
Sustancias corrosivas no combustibles	8B	+	+	+	+	+	+																	
Líquidos combustibles no de la CLALM 3	10	+	+	+	+	+																		
Sustancias sólidas combustibles	11	+	+	+	+																			
Líquidos no combustibles	12	+	+	+																				
Sustancias sólidas no combustibles	13	+	+																					

Figura 50 Tabla de segregación por clases para el almacenamiento de mercancías peligrosas en Alemania  
Fuente: Asociación de la Industria Química de Alemania (VCI)

#### 4.2.2.5 Requisitos de segregación según la normativa de seguridad industrial en Bélgica

La siguiente tabla muestra las distancias de separación entre las diferentes clases de sustancias peligrosas para el almacenamiento según la legislación Belga:

<b>Tableau de distances pour le stockage de liquides dangereux</b>								
	T <sup>+</sup> /T	X <sub>n</sub> /N	C	X <sub>i</sub>	E	O	P1/P2	P3/P4
T <sup>+</sup> /T	-	0	1	1	5	3	5	2
X <sub>n</sub> /N	0	-	1	0	5	2	1	0
C	1	1	-	0	5	0	1	0
X <sub>i</sub>	1	0	0	-	5	0	0	0
E	5	5	5	5	-	10	10	5
O	3	2	0	0	10	-	5	5
P1/P2	5	1	1	0	10	5	-	0
P3/P4	2	0	0	0	5	5	0	-
•pour des substances sensibles à la combustion spontanée	5	5	5	5	10	10	5	5
•substances développant avec l'eau des gaz combustibles								
Limites de propriété	5	3	2	1	7,5	7,5	5	3
<b>Tableau de distances pour le stockage de substances solides dangereuses</b>								
	T <sup>+</sup> /T	X <sub>n</sub> /N	C/X <sub>i</sub>	E	O	F <sup>+</sup> /F		
T <sup>+</sup> /T	-	0	1	3	2	2		
X <sub>n</sub> /N	0	-	0	3	1	1		
C/X <sub>i</sub>	1	0	-	3	0	0		
E	3	3	3	-	3	3		
O	2	1	0	3	-	3		
F <sup>+</sup> /F	2	1	0	3	3	-		
•pour des substances sensibles à la combustion spontanée	3	3	3	3	3	3		
•substances développant avec l'eau des gaz combustibles								
Limites de propriété	3	2	2	5	2	5		

Figura 51 Tabla de segregación por clases para el almacenamiento de mercancías peligrosas en Bélgica.

Fuente: Legislación Belga

Donde se tiene la siguiente leyenda:

- T – Sustancias tóxicas
- X<sub>n</sub>/N – Sustancias nocivas
- E – Sustancias Explosivas
- O – Sustancias comburentes
- Xi – Sustancias irritantes

- C – Sustancias corrosivas
- P1/P2/P3/P4 – Sustancias líquidas inflamables con distintos puntos de inflamabilidad
- F – Sustancias sólidas inflamables

### **4.2.3 Requisitos de formación**

Los trabajadores de una terminal de transferencia de contenedores con sustancias peligrosas deberán ser formados con anterioridad a la realización de su trabajo en seguridad y protección.

Esta formación previa al desarrollo laboral, debe contemplar todos los elementos regulados por la legislación autonómica, estatal y Europea.

Este entrenamiento, teórico y práctico, deber ser guiado por un plan formativo que debe contener al menos los siguientes contenidos mínimos:

#### **MERCANCÍAS PELIGROSAS:**

- Códigos de transporte de mercancías peligrosas: ADR (carretera), IMDG (marítimo) e IATA (avión)
- Clasificación de mercancías peligrosas
- Exenciones en el transporte de mercancías peligrosas
- Documentación necesaria en cada tipo de expedición de mercancías peligrosas
- Chequeos a la carga y descarga de mercancías peligrosas por carretera
- Etiquetado y marcado de unidades de transporte
- Etiquetado y marcado de bultos y sobreembalajes

#### **ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS**

- Real Decreto 379/2001 y sus Instrucciones técnicas complementarias
- Segregación de mercancías

- Requisitos técnicos de seguridad en las instalaciones

## AUTOPROTECCIÓN Y EMERGENCIA

- Concepto de autoprotección empresarial
- Equipos de emergencia en la compañía: Jefe de emergencia, 1ª y 2ª intervención, Evacuación y alarma, Primeros auxilios, Centro de control...
- Equipamiento propio de la empresa
- Plan de emergencia
- Plan de alarma
- Plan de evacuación
- Información al exterior

## REGLAMENTO 1272/2008 DE CLASIFICACION, ENVASADO Y ETIQUETADO DE PRODUCTOS QUIMICOS

- Nueva clasificación de productos químicos: riesgos físicos, para la salud humana y para el medio ambiente
- Nueva forma de etiquetado de productos químicos: etiquetado armonizado
- Envasado de productos químicos

## ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS:

- Real Decreto 681/2003
- Zonificación de áreas ATEX según el tipo de atmósfera
- Zonificación de áreas ATEX según la duración de la inflamabilidad
- Medidas técnicas para la minimización del riesgo: señalización de las instalaciones, equipos de protección personal, equipos eléctricos ATEX, equipos contra incendios, limpieza de las instalaciones, control de la hermeticidad.



- Medidas organizativas para la minimización del riesgo: formación, instrucciones de servicio, mantenimiento, permisos de trabajo, auditorías y simulacros periódicos
- Control de cargas electrostáticas

## SEÑALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES

- Señalización de obligación
- Señalización de prohibición
- Señalización de prudencia/advertencia
- Señalización especial

## RESIDUOS PELIGROSOS

- Códigos de identificación de residuos peligrosos
- Gestores autorizados de residuos peligrosos
- Productores de residuos peligrosos. Autorizaciones
- Documentación para residuos peligrosos

## MAQUINARIA

- Uso seguro de la maquinaria de las instalaciones
- Retardos y mecanismos especiales
- Límites de la maquinaria

## PROTECCIÓN

- Concepto de protección
- Amenazas internas
- Amenazas externas
- Medidas usuales de protección (vallado, videovigilancia,...)
- Mercancías peligrosas de alto riesgo (HCDG)
- Planes de protección para HCDG
- Modo de actuación en caso de bomba

## FORMACIÓN PRÁCTICA

- Uso de equipos de extinción de incendios: BIE's (bocas de incendio equipadas), Extintores de incendio
- Uso de equipos de emergencia especiales: Duchas y lavaojos de emergencia, Equipos de respiración autónoma, Simulacros

Dependiendo del modelo de maquinaria a utilizar para la colocación y elevación de contenedores, los operarios responsables de estas tareas deberán estar en posesión de un carné especial para el manejo esta maquinaria.

### **4.3 Requisitos legales y buenas prácticas relacionados con la protección**

En el ámbito del transporte de las mercancías peligrosas, se entiende por protección las “medidas o precauciones que hay que tomar para reducir al mínimo el robo o la utilización inapropiada de mercancías peligrosas que puedan poner en peligro a las personas, a los bienes o al medioambiente”. (ADR 2015. Cap.1.10).

La protección es un concepto que la normativa no ha desarrollado mucho ni a nivel estatal ni internacional; su irrupción en el mundo empresarial y, más concretamente, en el mundo químico ha surgido gracias a una serie de certificaciones de carácter voluntario a nivel internacional, especialmente las certificaciones TAPA para mercancías de gran valor promovidas por la Technology Asset Protection Association, y las auditorías SQAS (Safety & Quality Assessment System) del CEFIC (Consejo Europeo de la Industria Química)

El objetivo de las certificaciones TAPA es determinar si la organización sigue unos requerimientos mínimos de protección según 3 niveles para actividades de almacenamiento (A, B o C) y 4 para las actividades de transporte (1,2,3 o 4). La evaluación propuesta consiste en comparar los protocolos y actividades implementados en la empresa con los requerimientos mínimos de la metodología TAPA.

Las evaluaciones SQAS del CEFIC, por su parte, recogen todos los requisitos respecto a calidad, medio ambiente, seguridad y protección que las grandes empresas químicas Europeas demandan en su cadena logística (almacenes, distribuidores, transportistas, lavadores de cisternas y contenedores)

En las últimas revisiones de los cuestionarios sobre los que se basa este tipo de evaluaciones, apareció el concepto de protección (precauciones para evitar el robo o utilización inapropiada de las mercancías peligrosas) con el fin de diferenciarlo del de seguridad, tan ampliamente extendido en las reglamentaciones específicas (protección contra incendios, seguridad

de maquinaria, mercado CE...)

En septiembre de 2007 se creó el European Security Research and Innovation Forum (ESRIF), iniciativa promovida por la Comisión Europea. Está formado por un pleno de 65 participantes de 32 países diferentes con participación de la industria, consumidores finales públicos y privados, universidades y organizaciones no gubernamentales.

Este Organismo publicó en octubre de 2009 un reporte final proponiendo una Agenda prefijada para los próximos 20 años en materia de Protección e Innovación en la Unión Europea fijando 9 mensajes clave a cuyo cumplimiento debe encaminarse el marco global de la sociedad:

1. Protección de la sociedad
2. Flexibilidad social
3. Verdad
4. Interoperabilidad
5. Enfoque sistemático de la capacidad de desarrollo
6. Política industrial
7. Innovación
8. Protección mediante el diseño
9. La sensibilización a través de la educación y la formación

En este reporte se destacan las mejores técnicas disponibles (MTDs) para mantener altos niveles de protección a nivel industrial

## **4.4 Requisitos legales y buenas prácticas relacionados con el medio ambiente**

La gestión de una terminal interior de contenedores para mercancías peligrosas tiene una incidencia medioambiental. Por este motivo debe estar guiada por los instrumentos de ordenación integral del territorio, de planeamiento urbanístico y por la legislación ambiental.

Las Administraciones Públicas disponen de un amplio abanico de instrumentos legales para la ordenación del suelo en cuanto recurso natural y soporte de actividades tales como la planificación ambiental, la territorial (que incluye la planificación urbanística y la de ordenación del territorio) y la sectorial, todas ellas amparadas en sus respectivas fuentes legales.

Al tratarse de un proceso de incidencia territorial y medioambiental, resulta lógico que los instrumentos normativos ambientales guíen el proceso de construcción y explotación de la creación y puesta en funcionamiento de la terminal de contenedores para mercancías peligrosas, siendo este marco legal y procedimental el que posibilita una utilización óptima del medio, así como la resolución de los impactos provocados por la actividad mediante la introducción de las oportunas medidas protectoras y correctoras.

A continuación se presenta, por temáticas, la normativa ambiental aplicable a una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas:

- 4.4.1. Residuos.
- 4.4.2. Aguas residuales y vertidos.
- 4.4.3. Atmósfera/Ruido.
- 4.4.4. Suelos contaminados.
- 4.4.5. Evaluación de Impacto Ambiental.
- 4.4.6. Territorio y Urbanismo y Edificación.
- 4.4.7. Paisaje.
- 4.4.8. Instrumentos legislativos horizontales.
- 4.4.9. Normas de estandarización no reglamentarias.

#### 4.4.1 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con los residuos

##### Normativa europea

- Directiva 75/439/CEE del Consejo, de 16 de junio de 1975 relativa a la gestión de aceites usados (DOCE 194 25.7.95).
- Directiva 87/101/CEE del Consejo, de 22 de diciembre de 1986 por la que se modifica la Directiva 75/439/CEE.
- Reglamento (CEE) 93/259 del Consejo, de 1 de febrero de 1993 relativo a la vigilancia y al control de los traslados de residuos en el interior, a la entrada y la salida de la Comunidad Europea (DOCE L 30 6.2.93).
- Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo, de 20 de diciembre de 1994 relativa a los envases y residuos de envases (DOCE L 365, de 31.12.97)
- Decisión 96/350/CE, de la Comisión, de 24 de mayo de 1996, por la que se adaptan los anexos II A y II B de la Directiva 75/442/CEE, del Consejo, relativa a los residuos (DOCE, núm. L 135, de 6 de junio de 1996)
- Directiva 99/31/CEE del Consejo, de 26 de abril relativa al vertido de residuos (DOCE L 182 16.7.99)
- Directiva 2000/53/CE del parlamento europeo y del consejo de 18 de septiembre de 2000 relativa a los vehículos al final de su vida útil (doce núm. L 269, de 21 de octubre de 2000)
- Decisión 2001/118/CE, de la Comisión, de 16 de enero de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE en lo que se refiere a la lista europea de residuos (DOCE núm. L 47, de 16 de febrero de 2001)
- Directiva 2001/119/CE DOCE 47/L, de 16-02-01
- Directiva 2001/573/CE del Consejo de 23 de julio de 2001 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE

- de la Comisión en lo relativo a la lista de residuos (DOCE núm L 203, de 28 de julio de 2001)
- Reglamento 1013/2006 de 14 de junio de 2006 relativo a los traslados de residuos
  - Directiva 2006/66/CE de 6 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y por la que se deroga la Directiva 91/157/CEE
  - Directiva 2008/98/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (DO L 312 de 22.11.2008).
  - Directiva 103/2008, de 19 de noviembre de 2008, por la que se modifica la directiva 2006/66/ce, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores. (doce nº I 327, de 05/12/2008)
  - Reglamento 308/2009, de 15 de abril de 2009, por la que se modifican para su adaptación a los avances científicos y técnicos los anexos IIIA y VI del Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los traslados de residuos. (DOCE nº L 97, de 16/04/2009)
  - Decisión 851/2009, de 25/11/2009, Se crea un cuestionario para los informes de los Estados miembros acerca de la aplicación de la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores. (DOCE nº L 312, de 27/11/2009)
  - Reglamento 413/2010, de 12/05/2010, Se modifican los anexos III, IV y V del Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos para tener en cuenta los cambios adoptados en virtud de la Decisión

C(2008) 156 del Consejo de la OCDE. (DOCE nº L 119, de 13/05/2010)

- Directiva 97/2011, de 05 de diciembre de 2011, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE por lo que respecta a los criterios específicos para el almacenamiento de mercurio metálico considerado residuo. (DOCE nº L 328, de 10/12/2011)
- Decisión 753/2011, de 18 de noviembre 2011, por la que se establecen normas y métodos de cálculo para la verificación del cumplimiento de los objetivos previstos en el artículo 11, apartado 2, de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (DOCE nº L 310, de 25/11/2011)
- Reglamento 664/2011, de 11/07/2011, Se modifica el Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos, para incluir determinadas mezclas de residuos en su anexo IIIA. (DOCE nº L 182, de 12/07/2011)
- Reglamento 135/2012, de 16/02/2012, Se modifica el Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos, para introducir determinados residuos no clasificados en su anexo IIIB. (DOCE nº L 46, de 17/02/2012)
- Directiva 19/2012, de 04/07/2012, Sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). (DOCE nº L 197, de 24/07/2012)
- Reglamento 255/2013, de 20/03/2013, Se modifican para su adaptación a los avances científicos y técnicos los anexos IC, VII y VIII del Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos.
- Reglamento 715/2013, de 25/07/2013, Se establecen criterios para determinar cuándo la chatarra de cobre deja de ser residuo con arreglo a la Directiva



2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.  
(DOCE nº L 201, de 26/07/2013)

- Decisión 727/2013, de 06/12/2013, Se establece el formato para la notificación de la información sobre la adopción y las revisiones sustanciales de los planes de gestión de residuos y de los programas de prevención de residuos. (DOCE nº L 329, de 10/12/2013)
- Reglamento 660/2014, de 15/05/2014, Se modifica el Reglamento (CE) nº 1013/2006 relativo a los traslados de residuos. (DOCE nº L 189, de 27/06/2014)
- Reglamento 1234/2014, de 18/11/2014, Se modifican los anexos IIIB, V y VIII del Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos. (DOCE nº L 332, de 19/11/2014)
- Reglamento 1357/2014, de 18 de diciembre de 2014, por el que se sustituye el anexo II de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (DOCE nº L 370, de 30/12/2014)
- Decisión 955/2014, de 18 de diciembre de 2014, Se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DOCE nº L 370, de 30/12/2014)
- Directiva 1127/2015, de 10 de julio de 2015, por la que se modifica el anexo II de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (DOCE nº L 184, de 11/07/2015)
- Reglamento 2002/2015, de 10/11/2015, Se modifican los anexos IC y V del Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos. (DOCE nº L 294, de 11/11/2015)

**Normativa nacional**

- Real Decreto 833/1988 de 20 de julio por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. (BOE núm. 182, de 30.07.88).
- Real Decreto 363/1995, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.
- Real Decreto 45/1996, de 19 de enero, por el que se regulan diversos aspectos relacionados con las pilas y los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas. (BOE núm. 48 de 24.02.96).
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (BOE núm. 99, de 25.04.97).
- Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio. (BOE núm. 160, de 05.07.97)
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. (BOE núm 96, de 22.04.98).
- Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, Reglamento de la Ley 11/1997 (BOE núm. 104, de 01.05.98)
- Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (BOE núm. 172, de 20.7.99)
- Real Decreto 1416/2001, de 14 diciembre. ENVASES. Envases de productos fitosanitarios (BOE núm. 311/2001 [pág. 50002], 28 diciembre 2001)
- Real Decreto 1383/ 2002, de 20 de diciembre, sobre gestión de vehículos al final de su vida útil (BOE Núm. 3-01-2003).
- Real Decreto 81/2001, de 27 diciembre por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en

- vertedero (BOE núm. 25/2002 [pág. 3507], 29 enero 2002)
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos (BOE núm. 43, de 19 de febrero de 2002)
  - Corrección de errores de la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y lista europea de residuos (BOE núm. 61, de 12 de Marzo de 2002)
  - Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso.
  - Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados.
  - Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.
  - Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
  - Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo, de modificación de diversos reglamentos del área de medio ambiente para su adaptación a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley de libre acceso a actividades de servicios y su ejercicio.
  - Real Decreto 943/2010, de 23 de julio de 2010, por el que modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos. (BOE nº 189, de 05/08/2010)
  - Real Decreto 1436/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifican diversos reales decretos para su adaptación a la Directiva 2008/112/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que modifica varias directivas

para adaptarlas al Reglamento (CE) n.º 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.

- Orden 795/2011, de 31/03/2011, ARM: Se modifica el Anexo III del Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados. (BOE nº 83, de 07/04/2011)
- Ley 22/2011, de 28/07/2011, De RESIDUOS y SUELOS CONTAMINADOS. (BOE nº 181, de 29/07/2011)
- Real Decreto-ley 17/2012, de 4 de mayo, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Resolución /2013, de 20/12/2013, Se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 13 de diciembre de 2013, por el que se aprueba el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020. (BOE nº 20, de 23/01/2014)
- Real Decreto 110/2015, de 20/02/2015, Sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. (BOE nº 45, de 21/02/2015)
- Real Decreto 180/2015, de 13/03/2015, Se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado. (BOE nº 83, de 07/04/2015)
- Real Decreto 710/2015, de 24/07/2015, Se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos. (BOE nº 177, de 25/07/2015)

**Normativa  
autonómica**

- LEY 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana (DOGV 15/12/2000).
- ORDEN de 12 de marzo de 1998, de la Conselleria de Medio Ambiente, por la que se crea y regula el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos de la Comunidad Valenciana (DOGV. 3224, de 17.04.98)
- ORDEN de 15 de octubre de 1997, del Conseller de Medio Ambiente, por la que se modifica la Orden de 6 de julio de 1994, del conseller de Medio Ambiente, por la que se regulan los documentos de control y seguimiento de residuos tóxicos y peligrosos
- ORDEN de 14 de julio de 1997, de la Conselleria de Medio Ambiente de la Comunidad Valenciana, por la que se desarrolla el Decreto 240/1994, de 22 de noviembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Reglamento Regulador de la Gestión de Residuos
- ORDEN de 6 de julio de 1994, del conseller de Medio Ambiente, por la que se regulan los documentos de control y seguimiento de residuos tóxicos y peligrosos para emplear únicamente por pequeños productores de residuos (DOGV 2314, de 20.07.94). Orden de 15 de octubre de 1997 que modifica la Orden 6 de julio de 1994 anterior, en las que se regulan los justificantes de entrega de residuos peligrosos que han de emplear los pequeños productores de residuos peligrosos.
- RESOLUCIÓN de 24 de mayo de 2004, por la que se regula el procedimiento para la comunicación telemática de las Notificaciones Previas a los Traslados (NPT) y Documentos de Control y Seguimiento (DCS) de residuos peligrosos por parte de los productores y gestores de residuos, y se aprueba la aplicación en virtud de la que se gestiona el procedimiento (DOGV nº 4772, de 10/6/04). Esta resolución ha sido modificada por la Resolución de 18 de febrero de 2005, del

director general de Calidad Ambiental (DOGV nº 4959, de 4/03/05).

- ORDEN de 5 de diciembre de 2002 de la Conselleria de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, por la que se regula el modelo de la Declaración Anual de Envases y Residuos de Envases (DOGV 4401, 18 Diciembre de 2002).
- DECRETO 49/2011, de 6 de mayo, del Consell, por el que se aprueba el Plan Especial ante el Riesgo de Accidentes en el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera y Ferrocarril.
- DECRETO 22/2015, de 13 de febrero, del Consell, por el que se regulan las funciones y el Registro de Entidades Colaboradoras en Materia de Calidad Ambiental de la Comunitat Valenciana.

Tabla 11 Legislación medioambiental en materia de residuos

#### 4.4.2 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con las aguas residuales y los vertidos

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.</li><li>- Decisión de la Comisión, de 20 de septiembre de 2004, por la que se modifica la Decisión 97/464/CE, relativa al procedimiento de certificación de la conformidad de productos de construcción con arreglo al apartado 2 del artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en lo que concierne a los productos para instalaciones de evacuación de aguas residuales. DOCE L320, de 29-09-2004.</li><li>- Directiva 2006/118/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. DOUE 372, de 27-12-2006.</li><li>- Decisión 431/2014, de 26/06/2014, Relativa a los modelos de presentación de los informes sobre los programas nacionales de aplicación de la Directiva 91/271/CEE del Consejo. (DOCE nº L 197, de 04/07/2014)</li></ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Real decreto 484/1995, de 7 de abril, sobre medidas de regularización y control de vertidos (BOE 95 de 21.3.95)</li><li>- Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.</li><li>- Real decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de</li></ul>

diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales.

- Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio.
- Ley 46/1999, de 13 de diciembre, de modificación de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real decreto 606/2003, de 23 mayo Ministerio Medio Ambiente BOE 6 junio 2003, núm. 135, [pág. 22071].
- Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- Resolución /2011, de 30/06/2011, Se declaran las zonas sensibles en las cuencas intercomunitarias. (BOE nº 180, de 28/07/2011)
- Real Decreto 1290/2012, de 07/09/2012, Artículo segundo del Real Decreto 1290/2012: Modificación del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas. (BOE nº 227, de 20/09/2012)
- Orden AAA/2056/2014, de 27 de octubre, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido.
- Real Decreto 198/2015, de 23/03/2015, Se desarrolla el artículo 112 bis del texto refundido de la Ley de Aguas y se regula el canon por utilización aguas continentales para la producción de energía eléctrica
- Real Decreto 817/2015 de 11 Sep. (criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental).



<b>Normativa autonómica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DECRETO 266/1994, de 30 de diciembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Reglamento sobre Régimen Económico-Financiero y Tributario del Canon de Saneamiento (DOGV 2418, de 31.12.94)</li> <li>- LEY 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (DOGV 1761, de 8.04.92)</li> <li>- ORDEN de 10 de junio de 2002 de la Conselleria de Economía, Hacienda y Empleo, por la que se aprueban los nuevos modelos de declaración del Canon de Saneamiento.</li> <li>- DECRETO 83/2014, de 6 de junio, del Consell, por el que se modifica el Reglamento del Régimen Económico-Financiero y Tributario del Canon de Saneamiento, aprobado mediante el Decreto 266/1994, de 30 de diciembre, del Consell.</li> </ul>
-----------------------------	--

Tabla 12 Legislación medioambiental en materia de aguas residuales y vertidos

#### 4.4.3 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con la atmósfera y el ruido

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reglamento CE 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de junio de 2000 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.</li><li>- Directiva 2002/49/CE del parlamento europeo y del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.</li><li>- Directiva 50/2008, de 21/05/2008, Relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.</li><li>- Directiva 79/2010, de 19/11/2010, Sobre la adaptación al progreso técnico del anexo III de la Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. (DOCE nº L 304, de 20/11/2010)</li><li>- Directiva 1480/2015, de 28/08/2015, Se modifican varios anexos de las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en los que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente.</li></ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Decreto 833/1975 por el que se desarrolla la Ley 38/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico</li><li>- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (BOE núm. 157, de 2 de julio de 2002)</li><li>- Real decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.</li><li>- Real decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que</li></ul>

se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido
- Real Decreto 524/2006, de 28/04/2006, Se modifica el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las EMISIONES SONORAS en el entorno debidas a determinadas MÁQUINAS de uso al AIRE LIBRE. (BOE nº 106, de 04/05/2006)
- Real decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Resolución /2008, de 14/01/2008, Se publica Acuerdo de 07/12/07, que aprueba el II Programa Nacional de Reducción de Emisiones, conforme a la Directiva 2001/81/CE, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.
- Real decreto 1675/2008, de 17 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación
- Real Decreto 1436/2010, de 05/11/2010, Artículo 2º del Real Decreto por el que se modifican diversos reales

decretos para su adaptación a la Directiva 2008/112/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que modifica varias directivas para adaptarlas al Reglamento (CE) nº 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, de modificación del Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitaciones de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. (BOE nº 271, de 09/11/2010)

- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
- Real Decreto 102/2011, de 28/01/2011, Relativo a la mejora de la calidad del aire. (BOE nº 25, de 29/01/2011).
- Real Decreto-Ley 8/2011, de 01/07/2011, Artículo 31 del Real Decreto-ley 8/2011, de 1 de julio, de medidas de apoyo a los deudores hipotecarios, de control del gasto público y cancelación de deudas con empresas y autónomos contraídas por las entidades locales, de fomento de la actividad empresarial e impulso de la rehabilitación y de simplificación administrativa. (BOE nº 161, de 07/07/2011)
- Real Decreto 1038/2012, de 06/07/2012, Se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. (BOE nº 178, de 26/07/2012)
- Real Decreto 163/2014, de 14/03/2014, Se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. (BOE nº 77, de 29/03/2014)
- Real Decreto 678/2014, de 01/08/2014, Se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la

	<p>mejora de la calidad del aire. (BOE nº 206, de 25/08/2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ley 33/2015, de 21/09/2015, Disp. final 2ª de la Ley 33/2015, por la que se modifica la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Modificación de la Ley 34/2007, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera. (BOE nº 227, de 22/09/2015)</li> </ul>
<b>Normativa autonómica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DECRETO 43/2008, de 11 de abril, del Consell, por el que se modifica el Decreto 19/2004, de 13 de febrero, del Consell, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor, y el Decreto 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica.</li> <li>- CORRECCIÓN de errores del Decreto 43/2008, de 11 de abril, del Consell, por el que se modifica el Decreto 19/2004, de 13 de febrero, del Consell, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor, y el Decreto 104/2006, del 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica.</li> <li>- DECRETO 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación</li> <li>- LEY 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat, de protección contra la contaminación acústica.</li> <li>- DECRETO 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.</li> <li>- CORRECCIÓN de errores del Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica, en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.</li> </ul>

- SEGUNDA CORRECCIÓN de errores del Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica, en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.
- RESOLUCIÓN de 9 de mayo de 2005, del director general de Calidad Ambiental, relativa a la disposición transitoria primera del Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica, en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios
- Decreto 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell, por el que se desarrolla la Ley 2/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental.
- Ley 6/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana.

Tabla 13 Legislación medioambiental en materia de atmósfera y ruido

#### 4.4.4 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con los suelos contaminados

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunicación de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo, 2002.</li> <li>- Decisión del Consejo de 2 de diciembre de 2005, relativa a la firma en nombre de la Comunidad Europea del Protocolo sobre la protección de los suelos, el Protocolo sobre la energía y del Protocolo sobre el turismo, del Convenio de los Alpes. DOCE 337, de 22-12-2005. Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006 relativa a los residuos.</li> <li>- Directiva 99/31/CEE del Consejo, de 26 de abril relativa al vertido de residuos (DOCE L 182 16.7.99)</li> <li>- Reglamento 1013/2006 sobre traslado de residuos</li> <li>- Directiva 2008/98/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (DO L 312 de 22.11.2008)</li> </ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados</li> <li>- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.</li> </ul>
<b>Normativa autonómica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LEY 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana (DOGV 15/12/2000).</li> </ul>

Tabla 14 Legislación medioambiental en materia de suelos contaminados

#### 4.4.5 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con el impacto ambiental

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente</li> <li>- Directiva 52/2014, de 16/04/2014, Se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. (DOCE nº L 124, de 25/04/2014)</li> </ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.</li> <li>- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.</li> </ul>
<b>Normativa autonómica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orden de 3 de enero de 2005, de la Conselleria de Territorio y Vivienda por la que se establece el contenido mínimo de los estudios de impacto ambiental que se hayan de tramitar en esta Conselleria.</li> <li>- DECRETO 162/1990, de 15 de octubre, del Consell de la Generalitat Valenciana, por la que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 2/1989, de 3 de marzo, de Impacto Ambiental (DOGV núm. 1412, de 30.10.90)</li> <li>- LEY 2/1989, de 3 de marzo, de Impacto Ambiental (DOGV núm. 1021, de 8.03.89)</li> <li>- Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana.</li> </ul>

Tabla 15 Legislación medioambiental en materia de impacto ambiental



#### 4.4.6 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con el territorio, urbanismo y la edificación

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carta Europea de Ordenación del Territorio, adoptada en la Conferencia Europea de Ministros Responsables y ordenación del territorio (CEMAT), en Torremolinos (España), el 20 de Mayo de 1983.</li></ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ley 8/1990, de 25 de Julio, sobre Reforma del Régimen Urbanístico y Valoraciones del Suelo (Afectada por STC 61/1997, de 20 de marzo). BOE 99, de 25-04-1997 y BOE 159, de 04-07-1997.</li><li>- Real Decreto 304/1993, de 26 de Febrero, por el que se aprueba la tabla de vigencias de los Reglamentos de Planeamiento, Gestión Urbanística, Disciplina Urbanística, Edificación Forzosa y Registro Municipal de Solares y Reparcelaciones, en ejecución de la Disposición Final Única del Texto refundido de la Ley sobre el Régimen del Suelo y Ordenación Urbana.</li><li>- LEY 38/1999, de 5 de Noviembre, de Ordenación de la Edificación.</li><li>- Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.</li><li>- Real Decreto 1492/2011, de 24/10/2011, Se aprueba el Reglamento de valoraciones de la Ley de Suelo. (BOE nº 270, de 09/11/2011)</li><li>- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.</li><li>- Ley 8/2013, de 26/06/2013, De rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. (BOE nº 153, de 27/06/2013)</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30/10/2015, Se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. (BOE nº 261, de 31/10/2015)</li> </ul>
<b>Normativa autonómica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LEY 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana</li> <li>- LEY 4/1992, de 5 de junio de 1992, de la Generalitat Valenciana, sobre suelo no urbanizable.</li> <li>- REGLAMENTO de Planeamiento de la Comunidad Valenciana (Corrección de errores del Decreto 201/1998, de 15 de diciembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Reglamento de Planeamiento de la Comunidad Valenciana</li> <li>- ORDEN de 26 de abril de 1999, del conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, por la que se aprueba el Reglamento de Zonas de Ordenación Urbanística de la Comunidad Valenciana. [1999/L3917]</li> <li>- Acuerdo de 28 de Enero de 2003, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba definitivamente el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA).</li> <li>- LEY 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana.</li> <li>- DECRETO 173/1998, de 20 de Octubre, del Gobierno Valenciano, sobre actuaciones protegidas en materia de vivienda y suelo. BOE 152, de 26-06-98</li> <li>- Ley 3/2004, de 30 de Junio, de Ordenación y Fomento de la Calidad de la Edificación</li> <li>- REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.</li> <li>- Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana.</li> </ul>

- NTE Normas Tecnológicas de la Edificación
- NBE Norma Básica de la Edificación
- Ley 3/2004, de 30 de Junio, de Ordenación y Fomento de la Calidad de la Edificación.

Tabla 16 Legislación medioambiental en materia urbanística

#### 4.4.7 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con el paisaje

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Instrumento de ratificación del Convenio Europeo del Paisaje (número 176 del Consejo de Europa), hecho en Florencia el 20 de octubre de 2000</li><li>- Reglamento (CE) 166/2006, del Parlamento europeo y del Consejo de 18 de enero de 2006 relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo. DOUE 4-2-2006</li><li>- Decisión de la Comisión de 19 de julio de 2006, por la que se adopta, de conformidad con la Directiva 92/43/CEE del Consejo, la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea. DOCE 259, de 21-9-2006.</li></ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, por el que se regula el Inventario nacional de zonas húmedas. BOE 73, de 25-3-2004.</li><li>- Ley 30/2014, de 3 de diciembre, de Parques Nacionales.</li></ul>
<b>Normativa autonómica</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- LEY 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana</li><li>- Decreto 32/2004, de 27 de febrero, del Consejo de la Generalitat Valenciana, por el que se crea y regula el Catálogo Valenciano de especies de fauna amenazadas, y se establecen categorías y normas para su protección. DOGV 4705, de 4-3-2004.</li><li>- Resolución de 29 de julio de 2005, de la Consejería de Territorio y Vivienda, por al que se declaran los terrenos forestales de la Comunidad Valenciana de alto riesgo de</li></ul>

incendio. DOGV 5062, de 2-8-2005.

- Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana.

Tabla 17 Legislación medioambiental en materia de paisaje

#### 4.4.8 Normativa ambiental aplicable a una terminal interior relacionada con otros instrumentos legislativos

<b>Normativa europea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (DOCE 257/L, de 10-10-96)</li><li>- Directiva 2004/35/CE, sobre Responsabilidad Medioambiental.</li></ul>
<b>Normativa nacional</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ley 16/2002, de 1 de Julio, de prevención y control integrados de la contaminación. BOE 157, de 02-07-2002</li><li>- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.</li><li>- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.</li><li>- Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.</li></ul>

Tabla 18 Otra legislación medioambiental aplicable

#### 4.4.9 Normas de estandarización industrial aplicable no reglamentarias

<b>Análisis de riesgos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE 150008:2008 Análisis y evaluación del riesgo ambiental</li> </ul>
<b>Energía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso.</li> </ul>
<b>Gestión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE 66177:2005 Sistemas de gestión. Guía para la integración de los sistemas de gestión</li> <li>- Evaluación del desempeño ambiental. Directrices. (ISO 14031:2013)UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).</li> <li>- UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. (ISO 14044:2006).</li> <li>- UNE-ISO 14050:2009 Gestión ambiental. Vocabulario.</li> <li>- UNE-ISO/TR 14062:2007 IN Gestión ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos. (ISO/TR 14062:2002)</li> <li>- UNE-ISO 14063:2010 Gestión ambiental. Comunicación ambiental. Directrices y ejemplos. (ISO 14063:2006)</li> <li>- UNE-ISO 14004:2010 Sistemas de gestión ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo (ISO 14004:2004)</li> <li>- UNE-EN ISO 19011:2012 Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión. (ISO 19011:2011)</li> <li>- UNE-EN ISO 19011:2012 Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión.</li> <li>- UNE-ISO 10018:2015 Gestión de la calidad. Directrices para la participación activa y la competencia de las personas.</li> <li>- UNE-EN ISO 14031:2015 Gestión medioambiental.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE-EN ISO 14001:2015 Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 14001:2015)</li> </ul>
<b>Evaluación de impacto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE 157921:2006 Criterios generales para la elaboración de estudios de impacto ambiental.</li> </ul>
<b>Atmósfera</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE-ISO 14064-1:2012 Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (ISO 14064-1:2006).</li> <li>- UNE-ISO 14064-2:2012 Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero (ISO 14064-2:2006).</li> <li>- UNE-ISO 14064-3:2012 Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero (ISO14064-3:2006).</li> </ul>
<b>Etiquetado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE-EN ISO 14024:2001 Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Etiquetado ecológico Tipo I. Principios generales y procedimientos. (ISO 14024:1999).</li> <li>- UNE-EN ISO 14020:2002 Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales. (ISO 14020:2000)</li> <li>- UNE-EN ISO 14021:2002 Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II). (ISO 14021:1999)</li> <li>- UNE-ISO 14025:2010 Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos. (ISO 14025:2006)</li> </ul>

<b>Análisis del ciclo de vida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNE 150041:1998 EX Análisis de ciclo de vida simplificado.</li> <li>- UNE 150301:2003 Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño</li> <li>- UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).</li> <li>- UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. (ISO 14044:2006).</li> </ul>
-----------------------------------	---

Tabla 19 Normativa industrial aplicable de carácter no reglamentario



## **4.5 Plan director de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas en el ámbito de la seguridad, protección y medio ambiente**

Una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas debe disponer de un plan director en el ámbito de la seguridad, la protección y el medio ambiente que contribuya al cumplimiento de toda la legislación anteriormente relacionada, al igual que permita conseguir unos niveles de competitividad elevada en la logística de las mercancías peligrosas en contenedor.

Este plan director debe estipular una serie de acciones y programas a llevar a cabo por parte de la organización para conseguir niveles aceptables de seguridad, protección y gestión medio ambiental, y afectará al diseño del layout de la terminal y al proceso de jerarquización de alternativas posibles (Hanaoka & Regmi 2011)

Este plan director debe contener al menos los siguientes programas de seguridad, protección y gestión medio ambiental:

### **4.5.1 Evaluaciones SQAS del CEFIC**

Las evaluaciones SQAS (Safety&Quality Assessment System) del CEFIC (Consejo Europeo de la Industria Química) estipulan los requisitos demandados por la industria química europea a los proveedores logísticos, y se están ampliando actualmente a un ámbito mundial.

La terminal de contenedores deberá responder a los requisitos técnicos de los cuestionarios “*Warehouse*” (Almacenamiento) y “*Transport Service*” (Servicios de transporte). ([www.sqas.org](http://www.sqas.org))

## 4.5.2 Programa BBS

El programa BBS (Behaviour Based Safety) es un programa basado en una guía metodológica creada por el CEFIC (Consejo Europeo de la Industria Química) en colaboración con la EPCA (Asociación petroquímica europea) y la ECTA (Asociación europea del transporte de químicos).

Este programa se basa en la monitorización y evaluación mediante observaciones de la conducta hacia la seguridad y el medio ambiente de los operarios de la terminal con el fin de definir un plan formativo personalizado sobre la base a los resultados obtenidos durante el proceso de monitorización y observación.

([http://www.ecta.com/media/1030/bbs\\_final\\_-\\_spanish.pdf](http://www.ecta.com/media/1030/bbs_final_-_spanish.pdf))

Mediante este programa, la organización realizará una evaluación de cada uno de los trabajadores implicados mediante el cálculo de una serie de indicadores clave propuestos en la guía anteriormente señalada (consumo de combustible, estadísticas de accidentes e incidentes, evaluaciones de formación, etc...)

Además, se crea en la compañía la figura del observador, que es uno o varios operarios con reputación dentro de la empresa, que actuará como formador interno, realizando un chequeo periódico a cada uno de sus compañeros durante el servicio de manipulación, o de carga y descarga.

El estudio de estos indicadores proveerá a la empresa de suficiente información para desarrollar programas formativos individualizados que cubran las carencias técnicas y de conducta de cada uno de los operarios de la terminal.

Este programa es totalmente transparente por lo que los trabajadores en todo momento conocen los datos referentes a sus indicadores y a las tendencias del servicio global de la empresa

### 4.5.3 Programa “Responsible Care”

El programa “Responsible Care” es una iniciativa global y voluntaria de la industria química cuyo objetivo es lograr que las empresas adheridas a este programa, en el desarrollo de sus actividades, mejoren continuamente la seguridad, la protección y el medio Ambiente de acuerdo a los principios de un desarrollo sostenible.

“Responsible Care” se aplica en 53 países de todo el mundo bajo la gestión de un programa internacional único y que en España está coordinado por la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE), dirigido a los fabricantes de químicos, por AECQ (Asociación Española del Comercio Químico), para los distribuidores de productos químicos, y la ECTA (European Chemical Transport Association) para los transportistas, almacenes y terminales de contenedores.

Más del 60% del sector químico Español está ya adherido al programa “Responsible Care”, y desde su implantación en nuestro país, en 1993, las compañías que lo aplican han experimentado importantes avances en la gestión de la seguridad, la protección, la salud y el medio Ambiente.

Los objetivos fundamentales a conseguir con la adhesión de la terminal de contenedores al programa “Responsible Care” son los siguientes:

- Promover y conseguir una mejora continua en materia de seguridad, salud y medio Ambiente.
- Establecer metas cualitativas y cuantitativas de mejora para hacer visibles los progresos alcanzados.
- Mejorar la credibilidad de la terminal interior, e incrementar la confianza de la sociedad mediante la presentación pública de los resultados conseguidos.

Los 10 principios guía del programa “Responsible Care”, que firma el máximo responsable de una compañía adherida, son los siguientes:

### POLÍTICA DE EMPRESA

La aplicación de su política de seguridad, protección y del medio Ambiente se identifica con la política del "Responsible Care".

### PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES

Considera esencial la participación de sus empleados en esta iniciativa y adopta una política de comunicación y formación con los mismos, dirigida a lograr dicha participación en todas las actividades industriales y comerciales de la compañía.

### EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Asigna recursos humanos y técnicos para identificar los peligros, evaluar y gestionar los riesgos potenciales inherentes a sus procesos y productos, dedicando especial atención a la prevención y control de accidentes.

### COMUNICACIÓN Y PROMOCIÓN

Informa, escucha y responde a las autoridades, a sus empleados, a los clientes y a la Comunidad en general sobre los riesgos y medidas de prevención de sus instalaciones, procesos y productos, extendiendo la iniciativa a todos aquellos que manejan productos químicos.

### TUTELA DE PRODUCTO

Informa y asesora a sus clientes y al resto de agentes de la cadena de suministro, respecto a los peligros de los productos y a los riesgos de las operaciones de manipulación, utilización, transporte y tratamiento, tanto de los propios productos, como de los residuos, emisiones o vertidos asociados a los mismos.

### CONSERVACIÓN DE RECURSOS

Actúa según el principio de conservación de recursos y de minimización de residuos, vertidos y emisiones de acuerdo a las mejores técnicas

disponibles, asegurándose que se alcanza el más alto nivel posible de protección.

#### AVANCE TÉCNICO Y CIENTÍFICO

Contribuye a la investigación y a la educación, difundiendo los resultados de estudios científicos realizados para averiguar los efectos de sus procesos, productos, emisiones, vertidos y residuos.

#### SERVICIOS CONTRATADOS

Selecciona, informa y controla a sus contratistas para que apliquen reglas sobre Seguridad, protección de la Salud y del Medio Ambiente equivalentes a las suyas.

#### COLABORACIÓN CON LAS AUTORIDADES

Coopera con gobiernos y organizaciones en todos los ámbitos en el desarrollo e implantación de normas y regulaciones efectivas, y alcanza o excede sus requerimientos.

#### MEJORA CONTINUA Y OBJETIVOS

Asume el principio de mejora continua fijando periódicamente objetivos cuantitativos y cualitativos y controla su cumplimiento a través de los correspondientes indicadores de comportamiento.

#### **4.5.4 Pacto de ayuda mutua**

Las grandes empresas del sector químico a nivel europeo han formado un grupo de ayuda para caso de accidente con un transporte de químicos.

La propia industria puede proveer de información y medios a los servicios de ayuda de la Administración de cada país para minimizar los riesgos provocados por este hecho.

Normalmente la compañía propietaria del producto envuelto en el accidente es la que provee de información y la transportista de los medios necesarios pero, si no pudiera ser posible, los servicios de emergencia pueden recurrir al llamado ICE (Intervention in Chemical Transport Emergencias o Pacto de Ayuda Mutua Europeo) mediante el que las empresas adheridas a esta iniciativa, que sin ser propietarios de producto ni los transportistas que han sufrido el accidente, ponen sus medios y conocimientos a disposición de los servicios de emergencia.

En estos pactos de ayuda mutua hay 3 niveles de asistencia:

1. Provisión de información por teléfono o fax
2. Envío de un experto a la escena del accidente
3. Envío de equipamiento y personal propio para realizar asistencia en el lugar del accidente

Es conveniente que una terminal interior de contenedores para mercancías peligrosas se adherida a un pacto de ayuda mutua, siendo esta una de las iniciativas a llevar a cabo dentro de su plan director de seguridad, protección y medio ambiente, y como prueba de su compromiso con la seguridad y el medio ambiente.

#### **4.5.5 Principales guías para terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas**

La Terminal interior de contenedores tendrá en cuenta en su plan director de seguridad, protección y gestión medio ambiental las siguientes guías de seguridad y protección publicadas por el Consejo Europeo de la Industria Química (CEFIC), la Asociación Petroquímica Europea (EPCA) y la Asociación Europea de transporte de químicos (ECTA):

- Recommendations on safety, health and environmental management practices for logistics services  
([http://www.ecta.com/media/1051/1\\_safety\\_health\\_and\\_environmental\\_she\\_management\\_practices\\_for\\_logistics.pdf](http://www.ecta.com/media/1051/1_safety_health_and_environmental_she_management_practices_for_logistics.pdf))

Esta recopilación de recomendaciones, se realiza con el fin de informar a las empresas del sector logístico de la importancia del mantenimiento de unos altos niveles en el cuidado del medio ambiente, el cuidado de la salud laboral de los operarios y el mantenimiento de unas medidas de seguridad básicas según estudios en empresas del sector.

- Guidelines for safety awareness and behaviour in the supply chain([http://www.ecta.com/media/1045/3\\_safety\\_awareness\\_and\\_behaviour\\_in\\_the\\_supply\\_chain.pdf](http://www.ecta.com/media/1045/3_safety_awareness_and_behaviour_in_the_supply_chain.pdf))

Esta guía establece los principios básicos de seguridad y comportamiento en la cadena logística.

- Guidelines for 16 hours operation for loading, unloading and transport([http://www.ecta.com/media/1048/4\\_16\\_hours\\_operation.pdf](http://www.ecta.com/media/1048/4_16_hours_operation.pdf))

En esta guía se dan los principios básicos para optimizar los tiempos de carga y descarga con el fin de minimizar el número y duración de las esperas de transportistas a la hora de realizar operaciones de carga y descarga, mejorando así la cadena logística.

- Guidelines for transportation security  
([http://www.ecta.com/media/1042/8\\_transportation\\_security.pdf](http://www.ecta.com/media/1042/8_transportation_security.pdf))

En esta guía se recogen los principios a seguir por las terminales para mantener a salvo sus mercancías, información y documentación de usos malintencionados.

- Industry guidelines for the security of the transport of dangerous goods by road (<http://www.cefic.org/Industry-support/Responsible-Care-tools-SMEs/4-Security/Guidelines-for-the-security-of-the-transport-of-dangerous-goods-by-road/>)

Algunas mercancías peligrosas pueden ser utilizadas con fines terroristas o vandálicos mediante robo, secuestro de la unidad de transporte o accidentes provocados. En esta guía se enumeran los principios a seguir por terminales que operan con este tipo de mercancías para mantener en secreto información sobre las mercancías transportadas, el control en todo momento de las situaciones de las unidades de transporte y la minimización de la probabilidad de ocurrencia de conspiraciones internas.

- Intervention in Chemical transport Emergencies  
(<http://www.cefic.org/Industry-support/Responsible-Care-tools-SMEs/Transport-Logistics/Intervention-in-Chemical-Transport-Emergencies-ICE/>)

En esta guía se indican los pasos a seguir para adherirse al pacto de ayuda mutua mencionado anteriormente.

- Guidelines for transport equipment used for chemical packed cargo  
(<http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/Transport-and->



[Logistics/Best%20Practice%20Guidelines%20-%20General%20Guidelines/Guidelines-Transport-Equipment-Packed-Cargo-03-12.pdf](#))

El objetivo de esta guía es promover el uso de equipamiento apropiado para el transporte de químicos envasados y proveer de una guía para la aplicación de las mejores prácticas para la protección y estiba de la mercancía.

- Guidelines for standardized coding of transport events (<http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/Transport-and-Logistics/Guidelines-standardized-coding-transport-events.pdf>)

El objetivo de esta guía es la introducción de unos códigos estandarizados por la ECTA (European Chemical Transport Association) para armonizar la forma de comunicación de sucesos en la logística. El seguimiento de estos códigos proporcionaría, según la guía, las siguientes ventajas a una terminal:

- Proveer de una base común para el entendimiento mutuo
- Simplifica los sistemas de informe para los mismos hechos en el transporte
- Optimiza el tiempo y el esfuerzo en la colección, transmisión y procesamiento de información
- Permite identificar tendencias
- Permite calcular frecuencias de hechos específicos
- Identifica áreas de mejora y debilidades



## **CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE LA TEORIA DE DECISION MULTICRITERIA (MÉTODOS AHP Y ANP)**



## 5.1 Introducción

Una vez analizado en detalle las actividades de una terminal interior de contenedores, así como los requerimientos legales y buenas prácticas de seguridad, protección y gestión medioambiental aplicables a una terminal que manipula sustancias peligrosas. Y una vez evaluadas las máquinas que pueden ser utilizadas en una terminal interior para la gestión de contenedores en su patio, lo que definirá biunívocamente el layout de la terminal, vamos a aplicar el modelo matemático AHP (Analytic Hierarchy Process) y ANP (Analytic network process) (Saaty 2006) para poder priorizar las opciones de diseño de layout en función de las máquinas utilizadas.

Para ello se describirá el panel de expertos con el que se ha trabajado en esta investigación mediante el sistema de encuestas que desarrolla el método AHP/ANP, y que brevemente se detallan en este capítulo. Y se identifican los criterios que influyen en el proceso de toma de decisión en la optimización del diseño del layout a través de las máquinas utilizadas en el patio de la terminal interior.

Igualmente en este capítulo se describen las alternativas posibles que vamos a jerarquizar utilizando este modelo matemático.

Una vez relacionados los criterios, se interrelacionan entre sí mediante matrices de comparación que son fruto de las encuestas realizadas al panel de expertos. Estas comparaciones entre los criterios nos determinan el grado de influencia de cada uno de ellos en el proceso de toma de decisión.

Por otro lado, una vez identificados y ponderados estos criterios, se comparan las distintas alternativas en relación con cada uno de estos criterios.

Como consecuencia del estudio del estado del arte y las apreciaciones del panel de expertos, los criterios identificados para la optimización del layout

de una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas se han clasificado en tres grupos:

- Criterios de maquinaria y equipos (operacionales)
- Criterios de seguridad y protección
- Criterios medio ambientales

En principio se considera que cada uno de estos grupos tiene el mismo grado de influencia en el proceso de jerarquización de las alternativas definidas

No obstante en el capítulo 6 se llevará a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar como altera este proceso el hecho de variar el peso de influencia de cada uno de estos grupos de criterios en la aplicación del modelo AHP/ANP.

## 5.2 Panel de expertos

El panel de expertos ha contribuido en los diversos aspectos necesarios para definirlos criterios, organizarlos en una jerarquía, y compararlos para obtener los pesos de los criterios. Igualmente ha participado en la definición de las alternativas y la comparación de las mismas frente a cada uno de los criterios.

Para ello hemos partido del estudio del estado del arte y también se ha utilizado presentaciones de congresos internacionales relacionados con la temática y la normativa existente en relación a los criterios de diseños, construcción y gestión de una terminal de contenedores de mercancías peligrosas. De esta forma se ha buscado expertos en maquinaria y equipos, seguridad y protección y medioambiente.

El doctorando también ha realizado visitas a varias terminales de contenedores a nivel nacional, para comprender y esquematizar el procedimiento de funcionamiento global de éstas, y adaptarlo al diseño de las terminales interiores de mercancías peligrosas. Las visitas realizadas en el marco de esta investigación, se realizaron con la colaboración de FEPORTS (Instituto Portuario de Estudios y Cooperación), institución de interés general sin ánimo de lucro constituida conjuntamente por la Generalitat Valenciana y las Autoridades Portuarias de Alicante, Castellón y Valencia en abril de 1998

Estas visitas se han realizado a las terminales de contenedores de:

- GRUPO BOLUDA en la provincia de Alicante
- MARVALSA en el muelle Príncipe Felipe del Puerto de Valencia

Además, se han visitado las Autoridades Portuarias de las provincias de la Comunidad Valenciana para aumentar significativamente la información sobre la gestión de contenedores de mercancías peligrosas en la zona portuaria.

Por otra parte, se han realizado visitas a empresas en el ámbito de nuestra

investigación, como son:

- De transporte de contenedores de sustancias químicas (TRANSPORTES SANTOS, TRANSPORTES PRATS, BALTRANSA...)
- De importación/exportación de sustancias peligrosas en contenedores (AKZO NOBEL, UNIVAR, DSV, GEODÍS LOGISTICS...)
- Asociaciones empresariales relacionadas con el sector químico (AIDA - Asociación interprovincial de distribuidores de agroquímicos, AECQ – Asociación Española del Comercio Químico)

Otra fuente de información importante durante la realización de la tesis han sido las reuniones técnicas con expertos europeos de la logística, almacenamiento y transporte de contenedores de mercancías peligrosas.

Cabe destacar la SQAS Warehouse Workshop: Jornada sobre seguridad y protección en el almacenamiento de productos químicos organizada por el Consejo Europeo de la Industria Química (CEFIC) en Bruselas en Noviembre del 2009. En este simposium se trataron temas como:

- Logística sostenible: elementos prioritarios y mejores prácticas disponibles
- Requisitos en Europa para un almacenaje seguro
- Requerimientos de construcción y protocolos operativos para almacenamientos de mercancías a granel y envasados
- Evaluación del riesgo en almacenamientos

Igualmente es digno de mención, las jornadas de presentación de resultados de investigaciones en el ámbito del transporte realizadas durante el TRACONFERENCE Paris en Abril 2014, así como el congreso organizado por el IFFSTAR (l'Institut français des sciences et technologies des transports) en Paris en Julio del 2015 sobre cambio climático aplicado a la logística y en particular a las terminales de contenedores.

También se han concertado reuniones técnicas con expertos en la logística de productos químicos en el Norte de Europa, región donde se encuentran las empresas líderes del sector europeo. Algunos de los expertos



contactados han sido:

- Evert de Jong, HSSQE Manager de De Rijke Group.
- Jos Verlinden, Director de transporte y logística del Consejo europeo de la Industria Química (CEFIC).
- Jan de Meutter del Departamento de Prevención de incendios de la empresa BASF.
- Stefaan Thibaut, Risk Control Manager de Amlin Corporate Insurance.
- Patrick Gillon, Coordinador medioambiental externo para VLS Europe.
- Antoine Colom, Director europeo de las actividades de almacenamiento y transporte del Groupe Charles André.

De esta forma se pretende integrar tanto el conocimiento científico sobre el tema como el conocimiento técnico-profesional de expertos en este ámbito.

A continuación se describen los integrantes del panel de expertos con los que se ha trabajado, y cuál ha sido el área de trabajo de cada grupo. Posteriormente, para cada área temática se describen las características técnicas obtenidas con los expertos para posteriormente concretar esta información en criterios de decisión y alternativas:

Los integrantes del panel de expertos han sido:

1. AITEC. Es un centro de tecnología privado cuyo principal objeto es la captación, fomento, promoción y difusión de la tecnología, contribuyendo al desarrollo de procesos de innovación tecnológica en el sector empresarial. El ámbito de actuación de AITEC como Centro de Tecnología es Internacional, centrandose su actividad básicamente en Europa, y en particular en España, Portugal y Polonia.

AITEC está dotado de unos recursos humanos con un elevado nivel de capacitación profesional y una utilización preferente de conocimiento en el ámbito de la seguridad en transporte, almacenamiento y logística de mercancías peligrosas. El doctorando ha coordinado todo el proyecto y ha trabajado en el desarrollo de los ámbitos relativos a seguridad, la protección y

medioambiente.

Cabe comentar que en este caso han participado técnicos con dos visiones complementarias: visión comercial y visión técnica.

2. IMEDES. El Instituto Mediterráneo para el Desarrollo Sostenible (IMEDES) nace como respuesta al gran reto de nuestro tiempo: la sostenibilidad ecológica del desarrollo económico. Este ofrece a la sociedad todo tipo de servicios relacionados con el desarrollo económico sostenible y que se podrían englobar en tres áreas diferentes: formación, consultoría e investigación.

Para ello desarrolla su trabajo a partir del conocimiento científico, aportado por los más prestigiosos especialistas académicos y profesional. De ahí que se considere fundamental la divulgación de las numerosas investigaciones llevadas a cabo y persiga el conocimiento de las mismas por parte de la sociedad.

El objetivo marco de IMEDES es contribuir al fortalecimiento de las instituciones y de los organismos responsables de la gestión ambiental, así como cooperar en el crucial proceso de concienciación social y empresarial que la actual situación medioambiental requiere.

IMEDES ha colaborado en la parte medioambiental del proyecto, basándose en su experiencia y relevancia en el sector.

3. JOFESA IMAGINE SYSTEMS S.L. JOFESA es una empresa privada pionera en el sector de los automatismos especiales y las tecnologías de la información y la comunicación. Está especializada en dar respuesta a la necesidad de diseño, ensamble y desarrollo de diferentes procesos y automatismos en el campo de la producción industrial.

Entre el equipo humano de la empresa se encuentran ingenieros de todos los sectores implicados, industriales, de telecomunicaciones, arquitectos, entre otros profesionales.

Tienen una amplia experiencia en desarrollo y control de sistemas de red a gran escala, automatismos, maquinaria, redes de sensores inalámbricos, soluciones robóticas y domóticas, colaborando

activamente con organismos regionales de educación ofreciendo prácticas y seminarios en centros de formación reglada.

JOFESA ha colaborado en la parte de definición y análisis relacionados con la maquinaria y los procesos dentro de la terminal terrestre de transferencia de contenedores de sustancias químicas peligrosas.

#### 4. FITOTRANS S.A.

FITOTRANS es un operador logístico especializado en el sector químico y fitosanitario. Aunque cuenta con otras instalaciones, dispone de una terminal interior de contenedores exclusivamente dedicada a mercancías peligrosas.

La participación de estos actores en relación con las áreas temáticas planteadas en la tesis ha sido:

- Maquinaria y equipos: JOFESA y FITOTRANS
- Seguridad y Protección: AITEC
- Medio Ambiente: AITEC e IMEDES

Para desarrollar la metodología con el panel de expertos se estableció un plan de trabajo con diferentes reuniones de “*brainstorming*”, visitas a instalaciones, entrevistas personales con miembros del panel, así como entrevistas telefónicas y videoconferencias.

### 5.3 Criterios que intervienen en el proceso de toma de decisión

En nuestro caso vimos que el nivel más cercano al objetivo se podía desglosar en 3 grupos (ver figura 52). Estos criterios fueron definidos y ponderados por el panel de expertos:



Figura 52 Esquema sobre la representación jerarquizada respecto al objetivo o “goal”

En el modelo AHP y ANP se establecen conexiones de cada criterio con las alternativas, una vez establecido el modelo los criterios se van a comparar en importancia con respecto al “goal”.

En este caso el esquema del modelo propuesto es de 3 grupos, y cada uno de ellos presenta múltiples criterios que han sido evaluados por un panel de expertos.

En los modelos construidos utilizando el software “superdecisions” los criterios y alternativas se presentan con diferentes “clusters” y “nodos” distribuidos en niveles que se relacionan entre si mediante líneas que representan relaciones definidas por el usuario experto.

Las líneas que conectan los criterios indican que deben ser comparados

para evaluar su nivel de preferencia respecto al objetivo o “goal”. Usando “superdecisions”, se introducen los “nodos”, o elementos que influyen en el proceso de toma de decisión, y los grupos de “nodos”, que se llaman “clústers”.

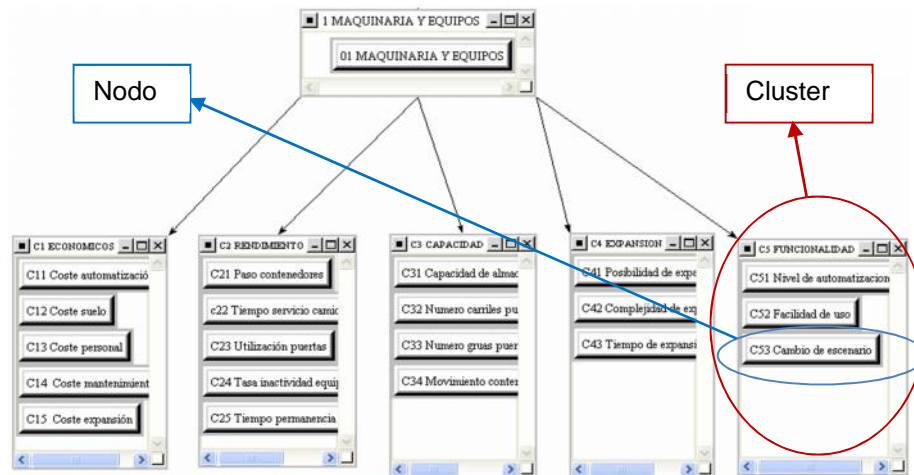


Figura 53 Esquema del modelo propuesto tomado de un pantallazo del software “Superdecision”

En base al estudio del estado del arte, a la documentación técnica presentada en este documento de tesis y a las conclusiones del panel de expertos, los criterios que afectan al proceso de jerarquización de alternativas de layouts en una terminal interior de contenedores con mercancías peligrosas pueden clasificarse en tres grupos:

- Maquinaria y Equipos
- Seguridad y Protección
- Medio Ambiente

A continuación se define cada uno de los grupos:

### 5.3.1 Criterios relacionados con las máquinas y equipos

En la siguiente figura podemos ver un esquema en “Superdecisión” de los criterios intervinientes en el área de Maquinaria y Equipos:

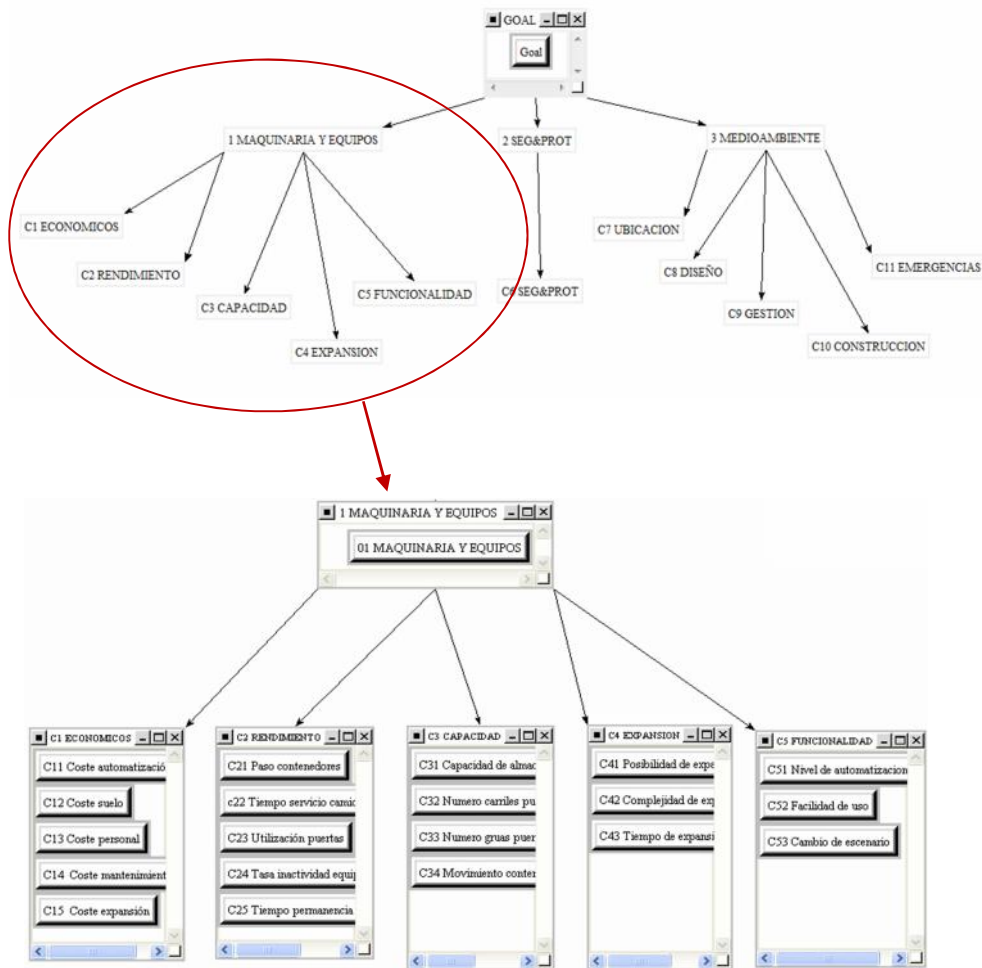


Figura 54 Esquema en “Superdecisión” de los criterios intervinientes en el área de Maquinaria y Equipos

**C1. Criterios económicos.** Este grupo de criterios hace referencia a todo lo que está relacionado con el coste del sistema de automatización. Es un grupo muy importante ya que en algunas ocasiones puede haber alternativas que sean directamente desechadas si no cumplen los requisitos establecidos para estos criterios.

- **C11. Coste automatización.** Es el coste relativo a todo los componentes necesarios para la automatización de cada una de las alternativas. Dentro de estos costes se engloban toda la maquinaria necesaria, como grúas, vehículos de guiado automático, raíles, racks, lanzaderas, etc., y también toda la electrónica necesaria para su control, como autómatas programables, RFID, sistemas de GPS, ordenadores, etc. La evaluación se hará comparando sobre la base de un coste: Muy bajo / Bajo / Medio / Alto / Muy alto
- **C12. Coste suelo** Este es el criterio que tiene que ver con todo lo relativo al precio del suelo. Es un criterio importante ya que dependiendo de la elección pueden ser necesarias urbanizaciones de zonas rurales que pueden influir en el coste final. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Euros / m<sup>2</sup>
- **C13. Coste personal.** Es el coste asociado a todas las personas necesarias para el funcionamiento de la terminal. Dependiendo del grado de automatización puede que el número de personas requeridas sea mayor o menor. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Euros / Persona
- **C14. Coste mantenimiento.** Son los costes asociados a lo que cuesta mantener en buenas condiciones las instalaciones de la terminal. Este criterio puede variar dependiendo de lo que cueste de mantener cada sistema. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Euros / año
- **C15. Coste expansión.** Son los costes que indican que precio

tendría aumentar la capacidad de la terminal si en un futuro hubiera más demanda. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Miles de Euros / m<sup>2</sup>

**C2. Criterios de rendimiento.** Este grupo de criterios hace referencia a las capacidades y tiempos que emplea cada una de las alternativas a la hora de manejar los contenedores. Dependiendo de las necesidades de la terminal, puede ser determinante para la elección de la alternativa

- **C21. Paso de contenedores.** Es en número de contenedores por hora que es capaz de procesar la terminal a pleno rendimiento. Este es un parámetro importante ya que marca la demanda de contenedores máxima que se puede atender. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Contenedores / Hora.
- **C22. Tiempo de servicio de camiones.** Este parámetro indica el tiempo medio que se necesita desde que un camión entra por la puerta, es servido, y vuelve a salir por la puerta. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: minutos
- **C23. Utilización de puerta.** Es el tanto por cien de tiempo que la puerta está sirviendo tráfico de contenedores de entrada o salida. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: %
- **C24. Tasa de inactividad de los equipos.** Es el tiempo que se encuentran los contenedores sin manipulación y por tanto los equipos inactivos. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: %
- **C25. Tiempo de permanencia de contenedores.** Es el tiempo de permanencia del contenedor sin manipulación. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: días



**C3. Criterios de capacidad.** Este grupo de criterios definen el volumen de contenedores que va a poder tratar cada una de las alternativas. Dependiendo de las cantidades de contenedores que se necesiten que maneje la terminal, pueden ser o no unos criterios importantes.

- **C31. Capacidad de almacenamiento.** Es el número de contenedores que es capaz de almacenar la terminal en el patio de almacenamiento. Este parámetro viene directamente relacionado con que el automatismo sea capaz de almacenar contenedores en alturas o no. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: número contenedores
- **C32. Número de carriles de puerta.** Es el número de accesos / salidas simultáneos que posee la puerta. Cuantos más carriles posea la terminal mayor será el número de caminos que puedan ser procesados. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: número de carriles
- **C33. Numero de grúas de puerta.** Es la cantidad de grúas que hay situadas en la puerta para poder servir a los camiones, ya sea para cargar o descargar. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: número de grúas.
- **C34. Movimiento de contenedores del automatismo.** Es la cantidad de movimientos de contenedores que puede realizar el automatismo en una hora. El movimiento del contenedor es el tiempo comprendido desde que se hace una petición en la puerta hasta que el automatismo ejecuta la petición y vuelve a la puerta. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: contenedores / hora

**C4. Criterios de expansión.** Estos criterios definen la capacidad y complejidad que tienen cada uno de los sistemas a la hora de crecer para aumentar sus capacidades. Este grupo puede ser influyente, pero normalmente no son criterios determinantes.

- **C41. Posibilidad de expansión.** Indica si el sistema tiene posibilidad de expansión una vez finalizada la primera construcción inicial. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: si / no
- **C42. Complejidad de expansión.** Indica la dificultad que tiene el sistema para poder ampliar sus capacidades para cubrir un aumento de la demanda en el futuro. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Muy baja / Baja / Media / Alta / Muy alta
- **C43. Tiempo de expansión.** Indica el periodo de tiempo que se debe de emplear para poder ampliar las capacidades de la terminal. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicador: días

**C5. Criterios de funcionalidad.** Estos criterios definen las capacidades y en número de funcionalidades que aporta cada alternativa. Estos criterios aportan un valor extra a cada una de las alternativas pero no suelen ser determinantes ya que normalmente todas las opciones alcanzan unos niveles mínimos exigidos. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores:

- **C51. Nivel de automatización.** Indica cuanto de automático es el sistema. Cuanto menor número de operarios requiera el sistema para poder funcionar, mayor es el nivel de automatización. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: número de operarios.
- **C52. Facilidad de uso.** Indica cual es el nivel de sencillez del automatismo. Si el sistema es muy complejo, se necesitan cursos de formación y operarios más capacitados. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Muy fácil / Fácil / Medio / Complejo / Muy complejo

- **C53. Cambio de escenario.** Este parámetro indica la posibilidad del automatismo para trabajar en diferentes escenarios, ya sea al aire libre, a cubierto, dentro de un almacén, etc. Para cuantificar este criterio a la hora de tomar una decisión se utilizarán como indicadores: Imposible / Difícil / Fácil / Muy Fácil

### 5.3.2 Criterios relacionados con la seguridad y la protección

En la siguiente figura podemos ver un esquema en “Superdecision” de los criterios intervinientes en el área de Seguridad y Protección:

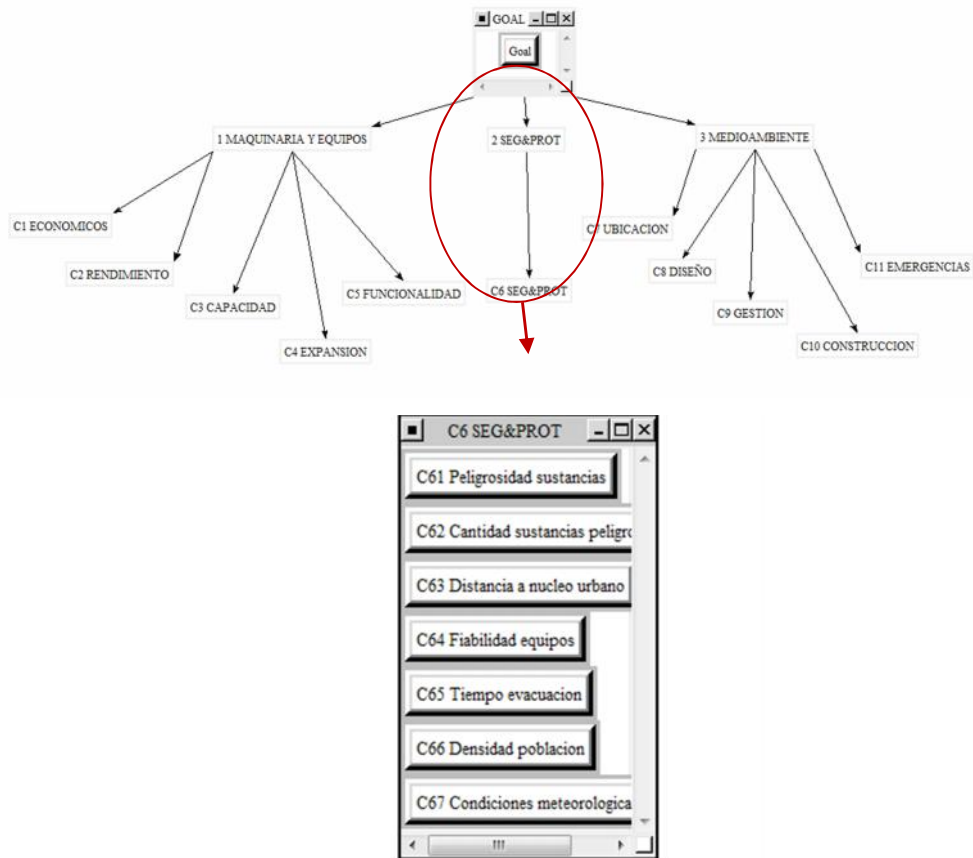


Figura 55 Esquema en “Superdecision” de criterios de seguridad y protección

Sabiendo que el riesgo depende de la probabilidad que ocurra un accidente y de la gravedad de sus consecuencias, a continuación se relaciona la selección de los criterios más significativos según las conclusiones que se han obtenido de un análisis cuantitativo de riesgos:

- **C61. Peligrosidad de sustancias peligrosas.** Se define como los

daños ocasionados sobre las personas, animales y sobre el medioambiente. Cuando la peligrosidad de la mercancía es muy alta los daños ocasionados serán mayores. Por ello, las instalaciones de más riesgo, serán aquellas que tienen sustancias con mayor peligrosidad, será importante efectuar una correcta clasificación de las mercancías peligrosas en la terminal, para adecuar las instalaciones a los riesgos; segregar los contenedores en función de su tipología, etiquetar adecuadamente las zonas de ubicación de los contenedores entre otros.

- **C62. Cantidad de sustancias peligrosas.** Este criterio se define como los litros o los Kg de sustancia peligrosa susceptible de generar daños a las personas, animales y al medioambiente; cuanta más cantidad de sustancia esté implicada en una fuga, derrame, o accidente, más difícil será la contención de ésta, las consecuencias serán mayores. En programas como Aloha de la EPA (Environmental Protection Agency) de US, se observa que cuanta más cantidad de sustancias peligrosas haya almacenada por m<sup>2</sup> en la terminal, en caso de una fuga, habrá mayor extensión del peligro y una mayor probabilidad de muerte.
- **C63. Distancia a núcleo urbano** Es el número de Km que existe desde la terminal hasta el núcleo más cercano. La elección de este criterio se justifica porque la toxicidad, radiación térmica y ondas de presión producidas en los accidentes en los que intervienen sustancias peligrosas pueden alcanzar zonas muy extensas desde el foco iniciador del suceso. Si no se considera una distancia de seguridad al núcleo urbano, la probabilidad de muerte y las fracciones de población que moriría podrían ser mucho mayores.
- **C64. Fiabilidad de equipos.** Este criterio es imprescindible para la gestión de una terminal interior de contenedores de sustancias peligrosas. El hecho de que haya un plan de mantenimiento y unas revisiones periódicas, tanto de los equipos de intervención utilizados como de los contenedores, reducirá la probabilidad de fallos que se han considerado en el HAZOP (Hazards and

Operability Analysis) y en el árbol de fallos, lo que conducirá a que haya menos probabilidad de que se produzca un suceso iniciador de un accidente.

- **C65 Tiempo de evacuación** Cuando se produce una emergencia es muy importante que el tiempo de evacuación sea lo menor posible. Esto implicará que el tiempo de exposición de las personas a los peligros del accidente (toxicidad, radiación térmica u ondas de presión) y por tanto, la gravedad de las consecuencias, sean menores.
- **C66 Densidad de población** Este criterio resulta relevante porque mientras más población por metro cuadrado haya en las zonas próximas, más personas se verán implicadas en los efectos asociados a un accidente.
- **C67 Condiciones meteorológicas** Las variables meteorológicas como la velocidad y dirección del viento van a influir en la extensión tanto de la nube tóxica, como la radiación térmica y las ondas de presión. Para calcular las zonas de extensión de los peligros de un accidente, el software Aloha, considera importantes tener en cuenta dichos parámetros meteorológicos.

### 5.3.3 Criterios relacionados con el medio ambiente

En la figura siguiente podemos ver un esquema en “Superdecision” de los criterios intervinientes en el área de medioambiente:

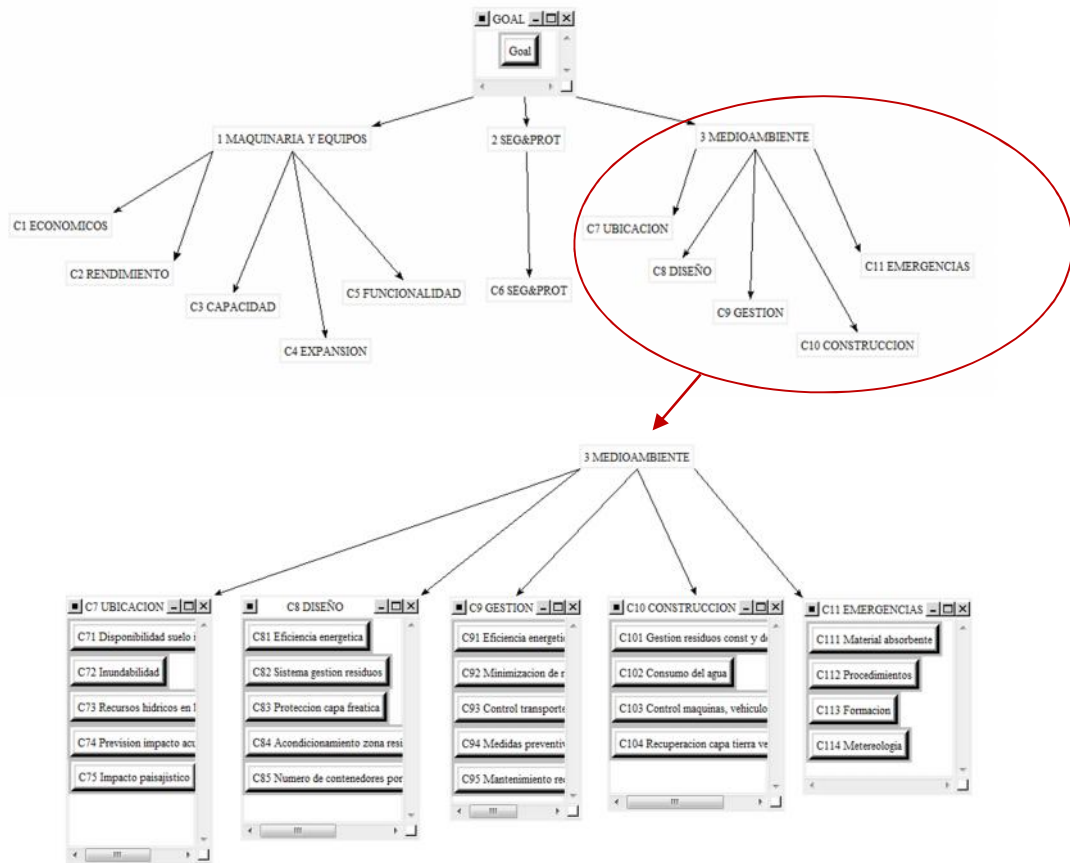


Figura 56 Esquema en Superdecision de los criterios de medioambiente

A continuación se enumeran los criterios ambientales definidos:

## **C7. Ubicación**

- **C71. Disponibilidad de suelo industrial sin necesidad de recalificar terreno con valor rústico.** Este criterio ambiental, se considera el más beneficioso para el propio promotor del proyecto, así como para la promoción de un planeamiento urbanístico sostenible en el municipio donde se vaya a ubicar la nueva actividad. Por ello, resulta de relevancia la elección de este criterio para obtener la mejor opción en cuanto a la ubicación de la terminal.

- **C72. Inundabilidad.** Este criterio resulta importante para la elección de la mejor ubicación en la Comunidad Valenciana de una terminal de contenedores de sustancias peligrosas, puesto que el vertido de sustancias peligrosas almacenadas en la terminal debido a inundaciones puede provocar la contaminación de las aguas superficiales, e incluso, subterráneas de la zona.

- **C73. Recursos hídricos de la zona.** Es importante considerar los recursos hídricos de la zona donde se va a implantar la nueva terminal. En este sentido, señalar la escasez de recursos hídricos que existe en ciertas regiones de España ha llevado a la puesta en marcha de restricciones de agua en varias zonas en distintos períodos estivales.

- **C74. Previsión del impacto acústico de la actividad.** La afección producida por la contaminación acústica sobre la población, resulta en este caso relevante, puesto que la actividad en una terminal de contenedores de sustancias peligrosas con el trasiego de camiones, cargas, etc., produce un importante impacto acústico. Por tanto, se ha propuesto elegir este criterio por la relevancia del citado impacto acústico que podría tener sobre la población.

- **C75. Impacto paisajístico.** La relevancia otorgada a los recursos paisajísticos en los últimos años en el marco de la política ambiental, con el desarrollo de nueva normativa para la protección del mismo, está teniendo gran repercusión sobre la ciudadanía, en general, que día a día asume una mayor concienciación sobre la preservación del paisaje. Por



ello, dado el posible impacto paisajístico derivado de la instalación de la nueva terminal, la elección de este criterio resulta relevante.

## **C8. Diseño**

- **C81 Eficiencia energética (consumo).** La lucha contra el cambio climático se ha convertido en una de las prioridades de las agendas nacionales e internacionales. En este contexto, cualquier iniciativa destinada a prevenir y reducir el consumo energético ha de ser considerada como prioritaria en una estrategia de excelencia ambiental.

- **C82 Implantación de un sistema de recogida y gestión de los residuos.** Debido a la actividad a realizar en la nueva terminal, este criterio resulta determinante en cuanto a la elección del mejor diseño de la misma, puesto que la peligrosidad de algunos residuos que se pueden generar, hacen que la implantación de un sistema de recogida y gestión de residuos sea de gran relevancia.

- **C83 Protección de la capa freática y las aguas superficiales.** A la hora de elegir la mejor alternativa para el diseño de una terminal de contenedores de sustancias peligrosas, resulta importante conocer cuál va a ser la protección a llevar a cabo para evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. De ahí, la relevancia de este criterio ambiental.

- **C84 Acondicionamiento de la zona de almacenamiento de los residuos.** Este criterio resulta relevante para la elección de la mejor alternativa en cuanto al diseño de una terminal de contenedores de sustancias peligrosas, puesto que un mal acondicionamiento de la zona de almacenamiento de los residuos peligrosos podría traer consecuencias importantes para el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

- **C85 Número de contenedores para cada fracción de residuos.** Como el criterio ambiental anterior, el conocimiento en la fase de diseño del número de contenedores para cada fracción de residuos, resulta relevante a la hora de elegir la mejor alternativa. No en vano, la falta de previsión de

los mismos puede acarrear importantes problemas, sobre todo a la hora de gestionar los residuos peligrosos.

## **C9. Gestión**

- **C91. Eficiencia energética (emisiones).** Tal y como se ha expuesto anteriormente, las medidas de ahorro y eficiencia energética presentan no sólo ventajas económicas sino también medioambientales ya que se alinean con las prioridades de la política ambiental nacional y autonómica. En este sentido, la aplicación de criterios de eficiencia energética en la gestión (buenas prácticas ambientales) y en la conducción de los vehículos (conducción ecoeficiente) resulta muy recomendable.

- **C92. Minimización de residuos.** Uno de los factores ambientales con mayor impacto en la fase de gestión de una actividad, es la generación de residuos. Por ello, la promoción de la minimización de los residuos durante esta fase, es relevante a la hora de elegir la mejor opción de las alternativas a evaluar.

- **C93. Control del transporte de productos.** Durante el transporte, carga y descarga de materiales, existe un elevado riesgo de accidentes que pueden provocar la contaminación de los suelos. Por ello, es importante controlar y protocolizar el transporte de productos, de modo que se eviten accidentes, pérdidas, molestias e impacto ambiental negativo. Por este motivo, se elige este criterio ambiental como relevante por la importancia de proteger los suelos de una posible contaminación de sustancias peligrosas, durante la fase de explotación de la actividad.

- **C94. Medidas preventivas contra el ruido.** Este criterio ambiental resulta relevante a la hora de promover la elección de la mejor alternativa de gestión de una terminal de contenedores de sustancias peligrosas, puesto que el impacto acústico potencial que se puede producir en este tipo de actividades puede resultar importante.

- **C95. Mantenimiento de la red de alcantarillado.** El no mantenimiento de la red de alcantarillado durante la explotación de una actividad como es

el almacenamiento de sustancias peligrosas, puede provocar fugas de posibles aguas contaminadas con dichas sustancias. En este sentido, sería importante conocer la periodicidad en cuanto al mantenimiento de dicha red, así como disponer de planes de acción ante posibles fugas.

## **C10. Construcción**

- **C101 Gestión de los residuos de construcción y demolición.** Uno de los criterios ambientales más importantes en la fase de construcción de una nueva actividad, es la correcta gestión de los residuos generados en la propia construcción. De ahí, la relevancia de proceder a la elección de este criterio a la hora de proceder a la selección de la mejor alternativa para la construcción de una terminal de contenedores de sustancias peligrosas.

- **C102 Minimización del consumo de agua.** De forma general, en la fase de construcción de una nueva instalación se consume abundante agua, de ahí la importancia de elegir este criterio ambiental para poder conocer las opciones planteadas para la minimización del consumo de agua de las diferentes alternativas planteadas en la fase de construcción.

- **C103 Control del uso de vehículos, maquinaria y equipos.** Durante la fase de construcción se pueden producir importantes emisiones a la atmósfera, en forma de contaminantes y ruido. En este sentido, la realización de un exhaustivo control del uso de vehículos, maquinaria y equipos podría minimizar dichas emisiones resulta de gran relevancia para asegurar la sostenibilidad ambiental de esta fase.

- **C104 Recuperación de la capa de tierra vegetal.** Este criterio ambiental se considera de relevancia a la hora de promover la elección de la mejor alternativa en la fase de construcción, debido a la importante afección producida sobre la flora durante esta fase. En este sentido, sería importante conocer el porcentaje de área afectada que se quiere recuperar.

## **C11. Gestión de situaciones anómalas**

- **C111 Medios para hacer frente a los derrames en el Almacenamiento.** Durante la fase de almacenamiento, y sobre todo en esta tipo de actividad, se pueden producir derrames y accidentes que pueden provocar no sólo afecciones sobre el entorno, sino también, afecciones sobre la salud de los trabajadores. Por ello, es importante tener en cuenta este criterio a la hora de elegir la mejor opción para la gestión de situaciones anómalas en una terminal de contenedores de sustancias peligrosas y disponer de equipos para prevenirlos (material absorbente)
  
- **C112 Procedimientos a aplicar en caso de riesgo.** Este criterio se presupone de relevancia a la hora de elegir la mejor alternativa posible para la gestión de situaciones anómalas, puesto que da una idea de los procedimientos propuestos a aplicar en caso de producirse algún riesgo de accidente ya sea en el almacenamiento como en el trasiego.
  
- **C113 Capacitación del personal.** La falta de formación de los trabajadores puede provocar accidentes no deseados. Por tanto, se considera este criterio como relevante a la hora de elegir la mejor alternativa en cuanto a la gestión de situaciones anómalas.
  
- **C114 Factores meteorológicos.** Lluvias, tormentas, heladas, terremotos, etc. Los riesgos de accidentes asociados a factores meteorológicos pueden resultar importantes y relevantes en un terminal de contenedores de sustancias peligrosas, puesto que el riesgo de importantes afecciones sobre el entorno y la salud es elevado.

Las tablas siguientes presentan un resumen de los criterios y sus identificaciones:

CRITERIOS DE MAQUINARIA Y EQUIPOS	
Crterios de primer Nivel	Crterios de segundo Nivel
C1 Económicos	C11 Coste automatización
	C12 Coste suelo
	C13 Coste personal
	C14 Coste mantenimiento
	C15 Coste expansión
C2 Rendimiento	C21 Paso de contenedores
	C22 Tiempo de servicio de camiones
	C23 Utilización de puerta
	C24 Tasa de inactividad de los equipos
	C25 Tiempo de permanencia de contenedores
C3 Capacidad	C31 Capacidad de almacenamiento
	C32 Número de carriles de puerta
	C33 Numero de grúas de puerta
	C34 Movimiento contenedores del automatismo
C4 Expansión	C41 Posibilidad de expansión
	C42 Complejidad de expansión
	C43 Tiempo de expansión
C5 Funcionalidad	C51 Nivel de automatización
	C52 Facilidad de uso
	C53 Cambio de escenario

Tabla 20 Identificación de criterios en el ámbito de la Maquinaria y los Equipos

CRITERIOS DE SEGURIDAD Y PROTECCION	
Criterios de primer Nivel	Criterios de segundo Nivel
C61 Peligrosidad de sustancias peligrosas	-
C62 Cantidad de sustancias peligrosas	-
C63 Distancia a núcleo urbano	-
C64 Fiabilidad de equipos	-
C65 Tiempo de evacuación	-
C66 Densidad de población	-
C67 Condiciones meteorológicas	-

Tabla 21 Identificación de criterios en el ámbito de la seguridad y la protección

CRITERIOS DE MEDIO AMBIENTE	
Criterios de primer Nivel	Criterios de segundo Nivel
C7 Ubicación	C71 Disponibilidad suelo industrial
	C72 Inundabilidad
	C73 Recursos hídricos en la zona
	C74 Previsión impacto acústico
	C75 Impacto paisajístico
C8 Diseño	C81 Eficiencia Energética
	C82 Sistemas de Gestión residuos
	C83 Protección capa freática
	C84 Acondicionamiento zona residuos
	C85 Núm. Contenedor por fracción residuos
C9 Gestión	C91 Eficiencia Energética
	C92 Minimización de Residuos
	C93 Control del transporte de productos
	C94 Medidas preventivas contra el ruido
	C95 Mantenimiento de la red de aguas
C10 Construcción	C101 Gestión residuos construcción. y demolición
	C102 Consumo del agua
	C103 Control de máquinas, vehículos. e instalaciones
	C104 Recuperación capa tierra vegetal
C11 Emergencia	C111 Material absorbente
	C112 Procedimientos
	C113 Formación
	C114 Meteorología

Tabla 22 Identificación de criterios en el ámbito del medio ambiente

## 5.4 Alternativas de layout a jerarquizar

En base a la información analizada en capítulos anteriores podemos definir 5 alternativas de layout a implantar en una terminal interior:

Número de Alternativa	Máquina utilizada en el patio	Layout habitual del patio	
		TEUs por filas	TEUs en altura
1	Straddle Carrier	1	3
2	Carretilla	2	3
3	Reachstacker	3	3
4	Plataformas	1	1
5	Grúas pórtico	8	5

Tabla 23 Relación de alternativas de layout a jerarquizar

La jerarquización de estas alternativas depende de los criterios mencionados anteriormente y de su grado de influencia en el proceso de toma de decisión. Para la ponderación de los criterios se va a considerar que la terminal interior presta uno o varios servicios de los descritos en este documento y así se le hace saber al panel de expertos en las encuestas realizadas.

Al introducir las alternativas en el “superdecision”, la estructura del modelo queda como se indica en la figura siguiente:



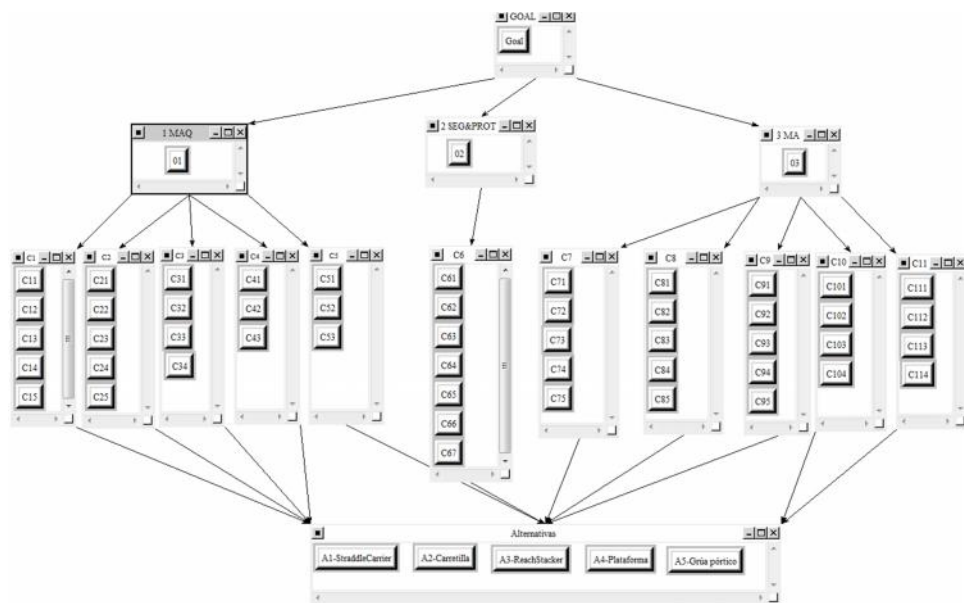


Figura 57 Esquema en Superdecisiones de los criterios, las alternativas y sus relaciones

## 5.5 Encuestas al panel de expertos

Las valoraciones que aparecen en la matriz de comparación se introducen en función de las decisiones tomadas por el panel de expertos.

Para ello se han realizado encuestas comparativas de criterios y alternativas que permiten comparar pares de criterios y alternativas con los valores asignados.

Como ejemplo de este tipo de encuesta se presenta el cuestionario donde se compara los criterios de capacidad en el grupo de maquinaria y equipos..

Compare el criterio “Coste de Suelo”, con el criterio “Coste de Automatización”, siendo:

A = Coste de Automatización

B = Coste de Suelo

En este caso los expertos han decidido que B es moderadamente más importante que A, por lo que en la matriz de comparación el valor asignado es de 3.

1-¿Qué criterio tiene mayor importancia?

- A
- B
- Igual

2-¿Cuánto más?

- Moderada
- Fuerte
- Muy Fuerte
- Extremo

El resultado de la comparación de A frente a B es 3 siguiendo la siguiente

escala de relación:

- 1.- Igual.** Dos actividades contribuyen en igual medida al objetivo
- 3.- Moderara.** La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
- 5.- Fuerte.** La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
- 7.- Muy Fuerte.** Una actividad es mucho más favorecida que la otra: su predominancia se demostró en la práctica
- 9.- Extrema.** Las pruebas que favorecen a una actividad más que a otra son del nivel de aceptación más alto posible

Si a la actividad "A" se le ha asignado un valor de 1 a 9 cuando se compara con la "B", entonces la "B" tiene el valor recíproco cuando se la compara con "A".

Con estos datos se obtiene el peso normalizado que se calcula para cada criterio utilizando la media de cada fila dividida por la media de la suma de los criterios. Además se calcula la consistencia de los resultados, no admitiendo inconsistencias superiores a 0,1 (Saaty 2006)

Si un elemento contribuye más que otro, el otro debe contribuir menos que este. Cuando la matriz es consistente la suma normalizada de cada fila nos indica en qué medida cada elemento domina sobre los otros en términos relativos. La suma de los casilleros en cada columna nos dice cuánto es dominado cada elemento por los otros.

Habiendo introducido toda la información sobre la comparación por pares e introducido los recíprocos, se obtienen las prioridades y se revisa la consistencia, tal como apreciamos en la captura del software presentando los valores de la siguiente manera:

Comparisons wrt "01 MAQUINARIA Y EQUIPOS" node in "C1 ECONOMICOS" cluster  
**C12 Coste suelo** is moderately more important than C11 Coste automatización

1. C11 Coste autom~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C12 Coste suelo
2. C11 Coste autom~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C13 Coste perso~
3. C11 Coste autom~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C14 Coste mant~
4. C11 Coste autom~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C15 Coste expa~
5. C12 Coste suelo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C13 Coste perso~
6. C12 Coste suelo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C14 Coste mant~
7. C12 Coste suelo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C15 Coste expa~
8. C13 Coste perso~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C14 Coste mant~
9. C13 Coste perso~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C15 Coste expa~
10. C14 Coste mant~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	C15 Coste expa~

Figura 58 Ejemplo de matriz de comparación entre los “criterios económicos” de “maquinaria y equipos”

En algunas ocasiones cuando se han puesto en común los resultados dados por el panel de expertos, se han asignado valores intermedios: 2, 4, 6 y 8. Estos se utilizan para pasar entre los valores anteriores, a veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transición.

El resultado de la comparación de A frente a B es 1/3 siguiendo esta encuesta y la escala de evaluación ya mencionada. Lo que significa que el “coste de suelo” tiene mayor importancia que el “coste de automatización” y en este caso la importancia de una sobre otra es moderada.

Con estos datos se obtiene el peso normalizado que se calcula para cada criterio utilizando la media de cada fila dividida por la media de la suma de los criterios.

Todas las matrices de comparación se obtienen mediante encuestas realizadas al panel de expertos descrito en este documento.

## 5.6 Relación entre los criterios de maquinaria y equipos

A continuación se presentan las matrices de comparación entre los criterios de primer nivel, su inconsistencia y el peso de cada uno de ellos.

Inconsistencia: 0.0639	C1 - CRITERIOS ECONOMICOS	C2 - CRITERIOS RENDIMIENTO	C3 - CRITERIOS CAPACIDAD	C4 - CRITERIOS EXPANSION	C5 - CRITERIOS DE FUNCIONALIDAD	PESOS LOCALES
C1 - CRITERIOS ECONOMICOS	1	5	7	5	5	0.548043
C2 - CRITERIOS DE RENDIMIENTO		1	5	3	1	0.171059
C3 - CRITERIOS DE CAPACIDAD			1	1/3	1/3	0.044623
C4 - CRITERIOS DE EXPANSION				1	1/3	0.082098
C5 - CRITERIOS DE FUNCIONALIDAD					1	0.154176

Tabla 24 Comparativa de criterios de primer nivel de maquinaria y equipos

Las matrices que definen las comparativas entre los tipos de criterios de segundo nivel, su inconsistencia y el peso de cada uno de ellos se define a continuación:

C1 - CRITERIOS ECONOMICOS Inconsistencia: 0.1044	C11 - Coste de Automatización	C12 - Coste del Suelo	C13 - Coste de personal	C14 - Coste de mantenimiento	C15 - Coste de expansión	Pesos locales
C11 - Coste de Automatización	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<u>0.199583</u>
C12 - Coste del Suelo		<b>1</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<u>0.512979</u>
C13 - Coste de personal			<b>1</b>	<b>1/2</b>	<b>3</b>	<u>0.076334</u>
C14 - Coste de mantenimiento				<b>1</b>	<b>5</b>	<u>0.159529</u>
C15 - Coste de expansión					<b>1</b>	<u>0.051575</u>

Tabla 25 Comparativa de criterios económicos de segundo nivel de maquinaria y equipos

C2 - CRITERIOS DE RENDIMIENTO Inconsistencia: 0.0956	C21 - Paso de contenedor	C22-Tiempo servicio camiones	C23 - Utilización puerta	C24 - Tasa inactividad equipos	C25 - Tiempo permanencia contenedores	Pesos locales
C21 - Paso de contenedores	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	0.045362
C22 - Tiempo servicio camiones		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	0.074561
C23 - Utilización puerta			<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	0.135370
C24 - Tasa inactividad equipos				<b>1</b>	<b>9</b>	0.670237
C25 - Tiempo permanencia contenedores					<b>1</b>	0.074471

Tabla 26 Comparativa de criterios de rendimiento de segundo nivel de maquinaria y equipos



C3 - CRITERIOS DE CAPACIDAD Inconsistencia: 0.0454	C31 - Capacidad de almacenamiento	C32 - Número de carriles de puerta	C33 - Número de grúas de puerta	C34 - Movimiento contenedores del automatismo	Pesos locales
C31 - Capacidad de almacenamiento	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	0.087095
C32 - Número de carriles de puerta		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/5</b>	0.199668
C33 - Número de grúas de puerta			<b>1</b>	<b>1/7</b>	0.078299
C34 - Movimiento contenedores del automatismo				<b>1</b>	0.634938

Tabla 27 Comparativa de criterios de capacidad de segundo nivel de maquinaria y equipos

C4 - CRITERIOS DE EXPANSION Inconsistencia: 0.0000	C41 - Posibilidad de expansión	C42 - Complejidad de expansión	C43 - Tiempo de expansión	Pesos locales
C41 - Posibilidad de expansión	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	0.818182
C42 - Complejidad de expansión		<b>1</b>	<b>1</b>	0.090909
C43 - Tiempo de expansión			<b>1</b>	0.090909

Tabla 28 Comparativa de criterios de expansión de segundo nivel de maquinaria y equipos

C5 - CRITERIOS DE FUNCIONALIDAD Inconsistencia: 0.0000	C51 - Nivel de Automatización	C52 - Facilidad de uso	C53 - Cambio de escenario	Pesos locales
C51 - Nivel de Automatización	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	0.142857
C52 - Facilidad de uso		<b>1</b>	<b>1</b>	0.428571
C53 - Cambio de escenario			<b>1</b>	0.428571

Tabla 29 Comparativa de criterios de funcionalidad de segundo nivel de maquinaria y equipos

## 5.7 Relación entre los criterios de seguridad y protección

La matriz que define la comparativa entre los tipos de criterios de primer nivel, su inconsistencia y el peso de cada uno de ellos se define a continuación:

C6 - CRITERIOS DE SEG. Y PROT. Inconsistencia: 0.1007	C61 - Peligrosidad sustancias	C62 - Cantidad sustancias peligrosas	C63 - Distancia a núcleo urbano	C64 - Fiabilidad Equipos	C65 - Tiempo de evacuación	C66 - Densidad de población	C67 - Condiciones. Meteorológicas.	Pesos locales
C61 - Peligrosidad sustancias	1	3	1/5	5	3	5	7	0.226727
C62 - Cantidad sustancias peligrosas		1	1/5	3	2	3	5	0.125440
C63 - Distancia a núcleo urbano			1	7	2	3	7	0.387793
C64 - Fiabilidad Equipos				1	1/5	1/3	1	0.032065
C65 - Tiempo de evacuación					1	3	7	0.130487
C66 - Densidad de población						1	5	0.071392
C67 - Condiciones meteorológicas							1	0.026096

Tabla 30 Comparativa de criterios de primer nivel de Seguridad y Protección

El panel de expertos no ha definido criterios de segundo nivel para el grupo de criterios de seguridad y protección.

## 5.8 Relación entre los criterios de medioambiente

La matriz que define la comparativa entre los tipos de criterios de primer nivel, su inconsistencia y el peso de cada uno de ellos se define a continuación:

Inconsistencia: 0.0283	C7 - CRITERIOS UBICACIÓN	C8 - CRITERIOS DISEÑO	C9 - CRITERIOS GESTION	C10 - CRITERIOS CONSTRUCCION	C11 - CRITERIOS EMERGENCIAS	PESOS LOCALES
C7 - CRITERIOS UBICACIÓN	1	3	5	3	7	0.469097
C8 - CRITERIOS DISEÑO		1	3	1	5	0.200993
C9 - CRITERIOS GESTION			1	1/3	3	0.086232
C10 - CRITERIOS CONSTRUC.				1	5	0.200993
C11 - CRITERIOS EMERGENC.					1	0.042685

Tabla 31 Comparativa de criterios de primer nivel de Medio Ambiente

Las matrices que definen las comparativas entre los tipos de criterios de segundo nivel su inconsistencia y el peso de cada uno de ellos se definen a continuación:

C7 - CRITERIOS UBICACIÓN Inconsistencia: 0.1008	C71 - Disponibilidad suelo industrial	C72 - Inundabilidad	C73 - Recursos hídricos en la zona	C74 - Previsión impacto acústico	C75 - Impacto paisajístico	Pesos locales
C71 - Disponibilidad suelo industrial	1	5	5	7	9	0.551585
C72 - Inundabilidad		1	1	7	9	0.199314
C73 - Recursos hídricos en la zona			1	5	7	0.170465
C74 - Previsión impacto acústico				1	3	0.050630
C75 - Impacto paisajístico					1	0.028005

Tabla 32 Comparativa de criterios de ubicación de segundo nivel de Medio Ambiente

C8 - CRITERIOS DE DISEÑO Inconsistencia: 0.0586	C81 - Eficiencia Energética	C82 - Sist. Gestión residuos	C83 - Protección capa freática	C84 - Acondicionamiento zona residuos	C85 - Núm. Contenedores por fracción residuos	Pesos locales
C81 - Eficiencia Energética	1	3	1/3	3	7	0.262331
C82 - Sist. Gestión residuos		1	1/3	1	5	0.125030
C83 - Protección capa freática			1	5	7	0.463842
C84 - Acondicionamiento zona residuos				1	5	0.113278
C85 - Núm. Contenedores por fracción residuos					1	0.035520

Tabla 33 Comparativa de criterios de diseño de segundo nivel de Medio Ambiente

C9 - CRITERIOS DE GESTION Inconsistencia: 0.0919	C91 - Eficiencia Energética (Emisiones)	C92 - Minimización de Residuos	C93 - Control del transporte de productos	C94 - Medidas preventivas contra el ruido	C95 - Mantenimiento de la red de aguas	Pesos locales
C91 - Eficiencia Energética (Emisiones)	1	5	3	3	5	0.469719
C92 - Minimización de Residuos		1	1	3	3	0.187766
C93 - Control del transporte de productos			1	1	3	0.146509
C94 - Medidas preventivas contra el ruido				1	5	0.142976
C95 - Mantenimiento de la red de aguas					1	0.053030

Tabla 34 Comparativa de criterios de gestión de segundo nivel de Medio Ambiente

C10 - CRITERIOS DE CONSTRUCCION Inconsistencia: 0.0432	C101-Gestión residuos const. y demolición	C102 - Consumo del agua	C103 - Control de máquinas, vehículos e instalaciones	C104 - Recuperación capa tierra vegetal	Pesos locales
C101 - Gestión residuos const. y demolición	1	1/5	3	1	0.168435
C102 - Consumo del agua		1	5	3	0.570045
C103 - Control de máquinas, vehículos e instalaciones			1	1/3	0.074612
C104 - Recuperación capa tierra vegetal				1	0.186909

Tabla 35 Comparativa de criterios de construcción de segundo nivel de Medio Ambiente

C11 - CRITERIOS DE EMERGENC. Inconsistencia: 0.0438	C111- Material absorbente	C112 - Procedimientos	C113 - Formación	C114 - Meteorología	Pesos locales
C111 - Material absorbente	1	1/3	1/5	3	0.117504
C112 - Procedimientos		1	1/3	5	0.262201
C113 - Formación			1	7	0.565009
C114 - Meteorología				1	0.055286

Tabla 36 Comparativa de criterios de emergencias de segundo nivel de Medio Ambiente



## 5.9 Relación entre las alternativas y los criterios de máquinas y equipos

Las matrices que definen la comparativa entre las alternativas y cada uno de los criterios de maquinaria y equipos, así como los pesos locales de estas alternativas frente a cada uno de estos criterios se definen a continuación:

### 5.9.1 Criterios económicos (C1)

C11 - COSTES DE AUTOMZATIZACION Inconsistencia: 0.10643	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	1	1/5	1/3	1/7	6	0.0745
A2 - Carretilla		1	3	1/3	7	0.2573
A3 - Reach stacker			1	1/5	8	0.1403
A4 - Plataforma				1	9	0.5006
A5 - Grúa pórtico					1	0.0273

Tabla 37 Comparativa de las alternativas frente a los costes de automatización

C12 - COSTES DE SUELO Inconsistencia: <b>0.0938</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1/5</b>	<b>0.2138</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0578</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/8</b>	<b>0.1071</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0310</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5903</b>

Tabla 38 Comparativa de las alternativas frente a los costes de suelo

C13 - COSTES DE PERSONAL Inconsistencia: <b>0.0283</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>3</b>	<b>0.0862</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.2010</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.2010</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0.4691</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0427</b>

Tabla 39 Comparativa de las alternativas frente a costes de personal

C14 - COSTES DE MANTENIMIENTO Inconsistencia: <b>0.0850</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>5</b>	<b>0.0723</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2594</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>6</b>	<b>0.1329</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5058</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0296</b>

Tabla 40 Comparativa de las alternativas frente a costes de mantenimiento

C15 - COSTES DE EXPANSION Inconsistencia: <b>0.1064</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>6</b>	<b>0.0745</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2573</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>8</b>	<b>0.1403</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5006</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0273</b>

Tabla 41 Comparativa de las alternativas frente a los costes de expansión

## 5.9.2 Criterios de rendimiento (C2)

C21 - PASO DE CONTENEDORES Inconsistencia: <b>0.0872</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>1/3</b>	<b>0.2944</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/6</b>	<b>0.0878</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>6</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0964</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0297</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.4917</b>

Tabla 42 Comparativa de las alternativas frente al criterio paso de contenedores

En esta valoración de alternativas frente al criterio C21 se consideran los recorridos previos y posteriores de los vehículos que portan los contenedores a la terminal, a diferencia de la evaluación frente al criterio C34 donde sólo se considera la velocidad del equipo de manipulación de contenedores en el patio.

C22-TIEMPO DE SERVICIOS CAMIONES Inconsistencia: <b>0.0210</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/7</b>	<b>1/7</b>	<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>0.0485</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0.3967</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>0.3967</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0.1098</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0485</b>

Tabla 43 Comparativa de las alternativas frente al criterio tiempo de servicios de camiones

La comparativa de alternativas frente al criterio C22 se hace en base al tiempo necesario para atender completamente a un camión.

C23 - UTILIZACION DE PUERTA Inconsistencia: <b>0.0712</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>0.1347</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>0.2636</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>0.4955</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0.0682</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0381</b>

Tabla 44 Comparativa de las alternativas frente al criterio utilización de puerta

La comparativa de alternativas frente al criterio C22 se hace considerando el porcentaje de tiempo de utilización de las zonas de carga y descarga de contenedores en el patio.

C24 - TASA DE INACTIVIDAD Inconsistencia: <b>0.1064</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>6</b>	<b>0.0745</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2573</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>8</b>	<b>0.1403</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5006</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0273</b>

Tabla 45 Comparativa de las alternativas frente a la tasa de inactividad

En esta comparativa de alternativas se valora el coste de tener los equipos parados.

C25 - TIEMPO PERMANENCIA CONTENEDORES Inconsistencia: <b>0.0655</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1511</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0464</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0464</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>0.2526</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5036</b>

Tabla 46 Comparativa de las alternativas frente al criterio tiempo de permanencia de los contenedores

En esta valoración de las alternativas se evalúa la preferencia de las máquinas al incrementar el tiempo de permanencia de los contenedores en la terminal



### 5.9.3 Criterios de capacidad (C3)

C31 - CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO Inconsistencia: <b>0.0986</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1/6</b>	<b>0.2043</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>1/8</b>	<b>0.0548</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/7</b>	<b>0.1062</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0306</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.6041</b>

Tabla 47 Comparativa de las alternativas frente a la capacidad de almacenamiento

C32 - NUMERO DE CARRILES DE PUERTA Inconsistencia: <b>0.0210</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/7</b>	<b>1/7</b>	<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>0.0485</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0.3967</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0.3967</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0.1098</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0485</b>

Tabla 48 Comparativa de las alternativas frente al número de carriles de puerta

En esta evaluación de alternativas se valora la preferencia de las máquinas cuando se dispone de pocos carriles de puerta en la terminal.

C33 - NUMERO DE GRUAS DE PUERTA Inconsistencia: <b>0.0000</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0.2432</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0.2432</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0.2432</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0270</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.2432</b>

Tabla 49 Comparativa de las alternativas frente al número de grúas de puerta

En esta evaluación de las alternativas se penaliza la necesidad de equipos complementarios necesarios para el patio

C34 - MOVIMIENTO CONTENEDORES DEL AUTOMATISMO Inconsistencia: <b>0.1006</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>3</b>	<b>1/8</b>	<b>0.0563</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>1/7</b>	<b>0.1092</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/6</b>	<b>0.1966</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0331</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.6048</b>

Tabla 50 Comparativa de las alternativas frente al movimiento de contenedores del automatismo

En esta tabla se ha considerado la velocidad de la máquina sin considerar recorridos de los camiones. Sólo considerando los recorridos de las máquinas de manipulación, a diferencia de la evaluación realizada frente al criterio C21.

### 5.9.4 Criterios de expansión (C4)

C41 - POSIBILIDAD DE EXPANSION Inconsistencia: <b>0.0712</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/2</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0959</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>6</b>	<b>0.2491</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/4</b>	<b>7</b>	<b>0.1442</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>8</b>	<b>0.4781</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0327</b>

Tabla 51 Comparativa de las alternativas frente a la posibilidad de expansión

C42 - COMPLEJIDAD DE EXPANSION Inconsistencia: <b>0.0712</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/2</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0959</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>6</b>	<b>0.2491</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/4</b>	<b>7</b>	<b>0.1442</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>8</b>	<b>0.4781</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0327</b>

Tabla 52 Comparativa de las alternativas frente a la complejidad de expansión

C43 - TIEMPO DE EXPANSION Inconsistencia: <b>0.0712</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/2</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0959</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>6</b>	<b>0.2491</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/4</b>	<b>7</b>	<b>0.1442</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>8</b>	<b>0.4781</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0327</b>

Tabla 53 Comparativa de las alternativas frente al tiempo de expansión

### 5.9.5 Criterios de funcionalidad (C5)

C51 - NIVEL DE AUTOMATIZACION Inconsistencia: 0.04566	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	1	7	7	1/3	3	0.2671
A2 - Carretilla		1	1	1/9	1/5	0.0384
A3 - Reach stacker			1	1/9	1/5	0.0384
A4 - Plataforma				1	5	0.5185
A5 - Grúa pórtico					1	0.1373

Tabla 54 Comparativa de las alternativas frente al nivel de automatización

C52 - FACILIDAD DE USO Inconsistencia: 0.03963	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	1	1/3	1/3	1/5	5	0.0919
A2 - Carretilla		1	1	1/3	7	0.2039
A3 - Reach stacker			1	1/3	7	0.2039
A4 - Plataforma				1	9	0.4694
A5 - Grúa pórtico					1	0.0308

Tabla 55 Comparativa de las alternativas frente a la facilidad de uso

C53 - CAMBIO DE ESCENARIO Inconsistencia: <b>0.0396</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0919</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4694</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0308</b>

Tabla 56 Comparativa de las alternativas frente al cambio de escenario

## 5.10 Relación entre las alternativas y los criterios de seguridad y protección

Todos los criterios de seguridad y protección son criterios de primer nivel. El panel de expertos no ha definido criterios de segundo nivel para los criterios de seguridad y protección.

Las matrices que definen la comparativa entre las alternativas y cada uno de los criterios de seguridad y protección, así como los pesos locales de estas alternativas frente a cada uno de estos criterios se definen a continuación:

C61 - CRITERIO DE PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS Inconsistencia: <b>0.0601</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	1	7	7	5	1/3	0.2998
A2 - Carretilla		1	1	1/3	1/7	0.0453
A3 - Reach stacker			1	1/3	1/7	0.0453
A4 - Plataforma				1	1/7	0.0949
A5 - Grúa pórtico					1	0.5148

Tabla 57 Comparativa de las alternativas frente al criterio de peligrosidad de las sustancias

En la evaluación de las alternativas en relación con este criterio se valora la probabilidad de accidente con mercancías peligrosas.



C62 - CRITERIO DE CANTIDAD DE SUSTANCIAS PELIGROSAS Inconsistencia: 0.05301	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1/3</b>	<b>0.2615</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0634</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1290</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0333</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5128</b>

Tabla 58 Comparativa de las alternativas frente al criterio de cantidad de sustancias peligrosas

C63 - CRITERIO DE DISTANCIA A NUCLEO URBANO Inconsistencia: <b>0.0530</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>3</b>	<b>0.0634</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2615</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.1290</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5128</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0333</b>

Tabla 59 Comparativa de las alternativas frente al criterio de distancia al núcleo urbano

Evaluación de las alternativas contraria a la cantidad de sustancias peligrosas (evaluación frente al criterio C62 y C31).

C64 - CRITERIO DE FIABILIDAD Inconsistencia: <b>0.0304</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>0.1223</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/7</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0529</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/7</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0529</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0.5140</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.2580</b>

Tabla 60 Comparativa de las alternativas frente al criterio de la fiabilidad

C65 - CRITERIO DE TIEMPO DE EVACUACION Inconsistencia: <b>0.0408</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>3</b>	<b>0.0600</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2150</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2150</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4779</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0322</b>

Tabla 61 Comparativa de las alternativas frente al criterio de tiempo de evacuación

C66 - CRITERIO DE DENSIDAD DE POBLACION Inconsistencia: <b>0.0530</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>3</b>	<b>0.0634</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2615</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.1290</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5128</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0333</b>

Tabla 62 Comparativa de las alternativas frente al criterio de densidad de población

Evaluación de alternativas equivalente a la evaluación en relación con el criterio C63-distancia al núcleo urbano

C67 - CRITERIO DE CONDICIONES METEOROLOGICAS Inconsistencia: <b>0.0794</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1/3</b>	<b>0.3136</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1093</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0553</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0298</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.4920</b>

Tabla 63 Comparativa de las alternativas frente al criterio de condiciones meteorológicas

## 5.11 Relación entre las alternativas y los criterios de medioambiente

Las matrices que definen la comparativa entre las alternativas y cada uno de los criterios de medioambiente, así como los pesos locales de estas alternativas frente a cada uno de estos criterios se definen a continuación:

### 5.11.1 Criterios de ubicación (C7)

C71 - DISPONIBILIDAD DE SUELO INDUSTRIAL Inconsistencia: <b>0.0731</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	1	5	3	7	1/3	0.2561
A2 - Carretilla		1	1/3	3	1/5	0.0680
A3 - Reach stacker			1	5	1/7	0.1219
A4 - Plataforma				1	1/9	0.0327
A5 - Grúa pórtico					1	0.5213

Tabla 64 Comparativa de las alternativas frente al criterio de disponibilidad de suelo industrial

Las alternativas se evalúan en función de la tasa de desaprovechamiento del suelo (equivalente a la comparativa de alternativas frente al criterio C12-Costes del suelo)

C72 - INUNDABILIDAD Inconsistencia: <b>0.0850</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>5</b>	<b>0.0723</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2594</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>6</b>	<b>0.1329</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5058</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0296</b>

Tabla 65 Comparativa de las alternativas frente al criterio de inundabilidad

Se evalúan las alternativas frente a la posibilidad de generar aguas contraincendios contaminadas. Evaluación de las alternativas contraria a la cantidad de sustancias peligrosas (evaluación sobre el criterio C62 y C31)



C73 - RECURSOS HIDRICOS Inconsistencia: <b>0.0424</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>5</b>	<b>0.0845</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.1976</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.1976</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4897</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0305</b>

Tabla 66 Comparativa de las alternativas frente al criterio de recursos hídricos

Se evalúan las alternativas frente a los recursos hídricos disponibles en la zona donde se ubica la terminal y que son susceptibles de ser contaminados por un accidente con sustancias peligrosas

C74 - IMPACTO ACUSTICO Inconsistencia: <b>0.0425</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>0.5040</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.1079</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.1079</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0.2482</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0321</b>

Tabla 67 Comparativa de las alternativas frente al criterio de impacto acústico

C75 - IMPACTO PAISAJISTICO Inconsistencia: <b>0.0425</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>0.5040</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.1079</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.1079</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0.2482</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0321</b>

Tabla 68 Comparativa de las alternativas frente al criterio de impacto paisajístico

### 5.11.2 Criterios de diseño (C8)

C81 - EFICIENCIA ENERGETICA (CONSUMO) Inconsistencia: <b>0.0396</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0919</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4694</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0308</b>

Tabla 69 Comparativa de las alternativas frente al criterio de eficiencia energética

Se evalúan las alternativas frente al consumo de combustible de las distintas máquinas y equipos

C82 - GESTION DE RESIDUOS Inconsistencia: <b>0.0425</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>3</b>	<b>0.0707</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.1591</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.1591</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5751</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0361</b>

Tabla 70 Comparativa de las alternativas frente al criterio de gestión de residuos

C83 - PROTECCION CAPA FREATICA Inconsistencia: <b>0.0850</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>5</b>	<b>0.0723</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2594</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>6</b>	<b>0.1329</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.5058</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0296</b>

Tabla 71 Comparativa de las alternativas frente a la protección de la capa freática

Se evalúa la probabilidad de contaminar las aguas superficiales y subterráneas. La comparación de las alternativas frente a este criterio es equivalente a la comparación frente al criterio de inundabilidad (C72).

C84 - ACONDICIONAMIENTO ZONA RESIDUOS Inconsistencia: <b>0.0396</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1954</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0839</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0839</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0387</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5982</b>

Tabla 72 Comparativa de las alternativas frente al criterio de acondicionamiento de la zona de residuos

Se evalúan las alternativas frente a la posibilidad de encontrar residuos fuera de la zona de residuos (y por tanto mal gestionados)

C85 - CONTENEDORES POR FRACCION DE RESIDUOS Inconsistencia: <b>0.0396</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0919</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4694</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0308</b>

Tabla 73 Comparativa de las alternativas frente al criterio de contenedores por fracción de residuos

Se evalúa la generación de residuos por cada una de las alternativas de máquinas



### 5.11.3 Criterios de gestión (C9)

C91 - EFICIENCIA ENERGÉTICA (EMISIONES) Inconsistencia: <b>0.0337</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0.4805</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0727</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0727</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0727</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.3013</b>

Tabla 74 Comparativa de las alternativas frente al criterio de eficiencia energética (emisiones)

En esta comparativa de alternativas se evalúa la preferencia de las máquinas y equipos frente a las emisiones de Kg. de CO<sub>2</sub><sub>eq</sub>/Tm.xKm.

C92 - MINIMIZACION DE RESIDUOS Inconsistencia: <b>0.0094</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1/3</b>	<b>0.2364</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0876</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0876</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0876</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5007</b>

Tabla 75 Comparativa de las alternativas frente al criterio minimización de residuos

Se valora la preferencia de las máquinas en función de la facilidad de implantar programas de minimización de residuos.

C93 - CONTROL TRANSPORTE DE PRODUCTOS Inconsistencia: <b>0.0377</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>1/3</b>	<b>0.3085</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0697</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0697</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0608</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.4913</b>

Tabla 76 Comparativa de las alternativas frente al control del transporte de productos

C94 - MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE AL RUIDO Inconsistencia: <b>0.0403</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0.5191</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0.1429</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0.1429</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0.1563</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0389</b>

Tabla 77 Comparativa de las alternativas frente a las medidas preventivas contra el ruido

Se evalúa la facilidad de implantar medidas preventivas frente al ruido

C95 - MANTENIMIENTO DE LA RED DE AGUAS Inconsistencia: <b>0.0290</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1342</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1342</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1342</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0346</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5628</b>

Tabla 78 Comparativa de las alternativas frente al mantenimiento de la red de aguas

Se valoran las alternativas en función de la probabilidad de dañar la red de alcantarillado por el funcionamiento de las máquinas.

### 5.11.4 Criterios de construcción (C10)

C101 - GESTION RESIDUOS CONSTRUCCION Y DEMOLICION Inconsistencia: <b>0.0396</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0919</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4694</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0308</b>

Tabla 79 Comparativa de las alternativas frente a la gestión de residuos de construcción y demolición

C102 - CONSUMO DE AGUA Inconsistencia: 0.03963	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>5</b>	<b>0.0919</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>7</b>	<b>0.2039</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.4694</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0308</b>

Tabla 80 Comparativa de las alternativas frente al criterio consumo de agua

Se evalúa el consumo de agua en la fase de construcción de la terminal.

C103 - CONTROL DE MÁQUINAS. VEHICULOS E INSTALACIONES Inconsistencia: <b>0.0393</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>0.0993</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.2079</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>5</b>	<b>0.2079</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0.4420</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0430</b>

Tabla 81 Comparativa de las alternativas frente al criterio control de máquinas, vehículos e instalaciones



C104 - RECUPERACION CAPA TIERRA VEGETAL Inconsistencia: <b>0.0731</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1/3</b>	<b>0.2561</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>1/5</b>	<b>0.0680</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1/7</b>	<b>0.1219</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/9</b>	<b>0.0327</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.5213</b>

Tabla 82 Comparativa de las alternativas frente a la recuperación de la capa de tierra vegetal

La valoración de alternativas frente a este criterio es equivalente a la valoración de alternativas frente a la tasa de desaprovechamiento del suelo (C71 y C12)

### 5.11.5 Criterios de emergencia (C11)

C111- MATERIAL ABSORBENTE Inconsistencia: <b>0.0437</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0.1640</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0.3627</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0.3627</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0.0818</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0287</b>

Tabla 83 Comparativa de las alternativas frente al criterio material absorbente en la zona

Se valora la facilidad de acceder al material absorbente en caso de un derrame.

C112 - PROCEDIMIENTOS Inconsistencia: <b>0.0437</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0.1640</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0.3627</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0.3627</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0.0818</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0287</b>

Tabla 84 Comparativa de las alternativas frente al criterio procedimientos

Se evalúa la facilidad de aplicar los procedimientos de emergencia en caso de un accidente

C113 - FORMACION Inconsistencia: <b>0.0197</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>0.0535</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.3057</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.3057</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0.3057</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.0293</b>

Tabla 85 Comparativa de las alternativas frente al criterio formación

Se valora la formación necesaria para casos de emergencia.

C114 - METEOROLOGIA Inconsistencia: <b>0.0548</b>	A1 - Straddle Carrier	A2 - Carretilla	A3 - Reach stacker	A4 - Plataforma	A5 - Grúa pórtico	Pesos locales
A1 - Straddle Carrier	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>1/3</b>	<b>0.3117</b>
A2 - Carretilla		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0460</b>
A3 - Reach stacker			<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/7</b>	<b>0.0460</b>
A4 - Plataforma				<b>1</b>	<b>1/5</b>	<b>0.1030</b>
A5 - Grúa pórtico					<b>1</b>	<b>0.4933</b>

Tabla 86 Comparativa de las alternativas frente al criterio meteorología

## 5.12 Resultado

### 5.12.1 Peso global de las alternativas

Al introducir el resultado de estas encuestas realizadas por el panel de expertos en el programa “superdecision” se han obtenido los siguientes pesos globales para las alternativas planteadas:

Alternativa	Peso global
A1-StraddleCarrier	0,1566
A2-Carretilla	0,1660
A3-ReachStacker	0,1420
A4-Plataforma	0,3013
A5-Grúa pórtico	0,2339

Tabla 87 Jerarquía de alternativas en base al resultado de las encuestas al panel de expertos

Representándolo gráficamente ordenados de mayor a menor:

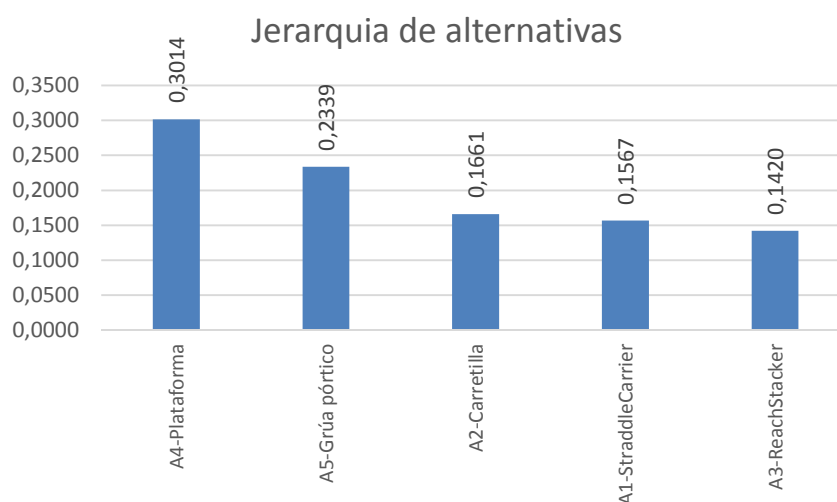


Tabla 88 Gráfico sobre la jerarquía de las alternativas ordenadas de mayor a menor

En la siguiente figura extraída del software “superdecision” para la aplicación del método AHP/ANP al problema de jerarquización podemos observar la relación del resto de alternativas frente a la ideal:

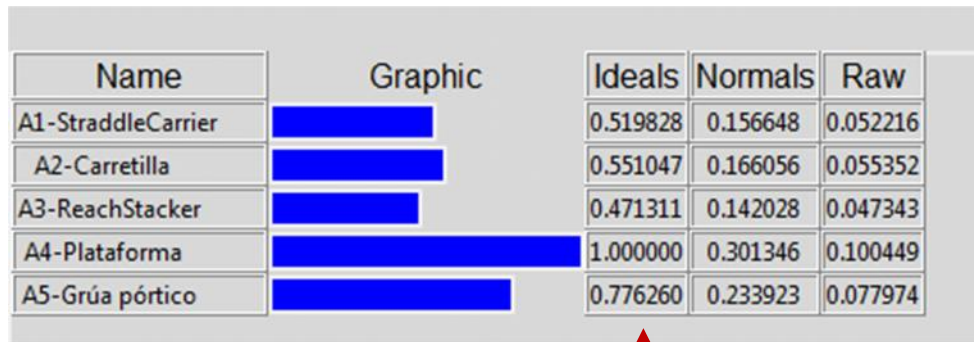


Figura 59 Relación del resto de alternativas frente a la ideal

### 5.12.2 Peso global de los criterios

Las preferencias del panel de expertos que ha participado en esta investigación y que se ha descrito en este mismo documento, quedan reflejadas en la siguiente tabla donde se ordena de mayor a menor la jerarquía de criterios y su peso global en el problema de decisión.

En esta tabla se ha indicado en color verde los criterios de medioambiente, en color naranja los criterios relacionados con la seguridad y la protección, y en color azul los criterios relacionados con máquinas y equipos.

Por otro lado se ha sombreado en gris aquellos criterios cuya suma pesa el 80 % del peso total según las preferencias del panel de expertos:

Numero de criterio	Descripción del criterio	Peso global
C63	Distancia al núcleo urbano	0,129
C12	Costes del suelo	0,094
C71	Disponibilidad de suelo industrial	0,086
C61	Peligrosidad de las mercancías	0,076
C65	Tiempo de evacuación	0,043
C62	Cantidad de sustancias peligrosas	0,042
C24	Tasa de inactividad	0,038
C102	Consumo de agua durante la construcción de la terminal	0,038
C11	Costes de automatización	0,036
C72	Inundabilidad con aguas contaminadas	0,031
C83	Protección de las aguas subterráneas	0,031
C14	Costes de mantenimiento	0,029
C73	Recursos hídricos cercanos	0,027
C66	Densidad de población cercana a la terminal	0,024
C41	Posibilidad de expansión de la	0,022






	terminal	
C52	Facilidad de uso	0,022
C53	Adaptabilidad a cambio de escenario	0,022
C81	Eficiencia Energética (consumo de combustible)	0,018
C13	Coste personal	0,014
C91	Eficiencia Energética (emisiones)	0,014
C104	Recuperación capa tierra vegetal	0,013
C101	Gestión residuos construcción. y demolición	0,011
C64	Fiabilidad de equipos	0,011
C34	Movimiento contenedores del automatismo	0,009
C15	Coste expansión	0,009
C67	Adaptabilidad a las condiciones meteorológicas	0,009
C82	Sistemas de Gestión residuos	0,008
C113	Necesidades de formación	0,008
C74	Previsión impacto acústico	0,008
C23	Utilización de puerta	0,008
C84	Acondicionamiento zona residuos	0,008
C51	Nivel de automatización	0,007
C92	Minimización de Residuos	0,005
C103	Control de máquinas, vehículos. e instalaciones	0,005
C75	Impacto paisajístico	0,004
C22	Tiempo de servicio de camiones	0,004
C25	Tiempo de permanencia de contenedores	0,004
C93	Control del transporte de productos	0,004
C94	Medidas preventivas contra el ruido	0,004
C112	Procedimientos	0,004
C32	Número de carriles de puerta	0,003
C21	Paso de contenedores	0,003
C42	Complejidad de expansión	0,002

C43	Tiempo de expansión	0,002
C85	Núm. Contenedor por fracción residuos	0,002
C111	Material absorbente	0,002
C95	Mantenimiento de la red de aguas	0,002
C31	Capacidad de almacenamiento	0,001
C33	Movimiento contenedores del automatismo	0,001
C114	Meteorología	0,001

Tabla 89 Relación de pesos de los criterios ordenados de mayor a menor por su grado de influencia en el proceso de toma de decisión

Leyenda:

	Criterios de Máquinas y Equipos
	Criterios de Seguridad y Protección
	Criterios de Medioambiente

En el Anexo 1 se pueden consultar los pesos de los “clusters” de máquinas y equipos, seguridad & protección y medio ambiente (criterios de nivel 1) frente al “Goal”, así como los pesos de cada uno de los “clusters” correspondiente a los criterios de segundo nivel frente a los criterios de primer nivel.

El peso global de los criterios descritos anteriormente (tercer nivel) se ha calculado multiplicando el peso local correspondiente a cada uno de los niveles.

Representando gráficamente estos resultados se obtiene lo siguiente:



Figura 60 Relación de criterios ordenados de mayor a menor

## 5.13 Conclusiones

El hecho que se trate de una investigación dirigida a terminales interiores, y que en estas terminales interiores contengan mercancías peligrosas, así como que presten servicios adicionales a la propia manipulación de los contenedores, hace que aparezcan con fuerza criterios medio ambientales y de seguridad y protección, que en otro tipo de terminales no tendrían tanto peso en las preferencias del panel de expertos.

La identificación de los criterios que influyen en el proceso de decisión, y la relación entre los criterios definida por el panel de expertos para obtener los grados de influencia, ha contemplado que en la terminal se prestan uno o varios de los servicios descritos en el capítulo 3.3

Estos servicios adicionales a la propia manipulación de los contenedores forman parte del layout de la terminal en la medida que precisan de un espacio físico donde prestarlos, pero no nos interesa en principio donde se ubican dentro de la terminal, sino que se utilizan para identificar criterios relevantes como inundabilidad, eficiencia energética y gestión de residuos.

La legislación aplicable de seguridad y medio ambiente, así como las guías de buenas prácticas descritas en el capítulo 4.5 sobre el plan director de seguridad, protección y medio ambiente en una terminal de contenedores, han sido también fuente de inspiración para la identificación y ponderación de criterios de seguridad, protección y medio ambiente por parte del panel de expertos.

Clave ha sido también el hecho que se trate de una terminal interior en vez de una terminal portuaria, dado que permite mayor libertad en la ubicación de la terminal. Esta mayor libertad en la ubicación de la terminal da lugar a criterios como la disponibilidad de suelo industrial frente a suelo rústico recalificado, el precio del suelo y la distancia al núcleo urbano, que al tratarse de una terminal con mercancías peligrosas el panel de expertos lo ha colocado como criterio más influyente.

Si analizamos el 80% de los criterios más influyentes, nos encontramos con 5 criterios de seguridad y protección, 6 criterios medio ambientales y 7 criterios de máquinas y equipos, es decir cada uno de los bloques considerados en el proceso de decisión aporta aproximadamente el mismo número de criterios en el proceso de decisión, lo cual no deja de ser razonable al considerar que el panel de expertos había decidido que los tres bloques pesaban igual frente al “goal” de optimización del layout de una terminal interior con mercancías peligrosas.

Dentro de los criterios de seguridad y protección nos encontramos criterios tan interesantes como la distancia al núcleo urbano más próximo y la densidad de población de este núcleo urbano, la peligrosidad de la mercancía almacenada en la terminal, la cantidad de estas mercancías peligrosas almacenadas, el tiempo de evacuación en caso de una emergencia.

Para los criterios medioambientales, han resultado como más influyentes la disponibilidad de suelo industrial, la necesidad de agua para la construcción de la terminal y la posibilidad de contaminar las aguas próximas así como la cantidad y calidad de las aguas próximas susceptibles de ser contaminadas en caso de un incendio (aguas conraincendios contaminadas) o un derrame. Finalmente la eficiencia energética a través del consumo de combustible es un criterio medio ambiental considerado como relevante

En cuanto a los criterios de máquinas y equipos, aparecen como más influyentes el coste del suelo, el precio del equipo (coste de automatización), el coste de amortización cuando el equipo está inactivo (tasa de inactividad), los costes de mantenimiento del equipo, la posibilidad de expansión, la facilidad de uso y la adaptabilidad de cambio de escenario

Para todos estos criterios de máquinas y equipos, la utilización de plataformas es preferente frente al resto de equipos de manipulación, excepto para el coste del suelo en la medida que se requiere de mayores superficies al utilizar este sistema para el layout de una terminal.

No obstante, la plataforma es un equipo seguro y medioambientalmente aceptable en la medida que no genera excesivos residuos, ni tiene un excesivo consumo ni genera grandes emisiones directas o indirectas (a través del consumo eléctrico)

Para una terminal de contenedores con sustancias peligrosas, la utilización de las plataformas como sistema de almacenamiento y disposición del layout nos asegura la no acumulación de elevados riesgos en pequeñas áreas de superficie, al no tener volúmenes de pila elevados debido a la imposibilidad del apilamiento.

Todo ello hace razonable los resultados obtenidos al aplicar el método AHP/ANP al proceso de decisión entre las 6 alternativas posibles de máquinas y equipos para la manipulación de contenedores en el patio de una terminal, que a su vez dan lugar a 6 tipos de layouts diferentes

Este resultado es sorprendente puesto que no es el habitualmente aplicado en Europa, quizá por dos motivos fundamentalmente:

1.-\ Sólo se considera como criterio de decisión el coste del suelo industrial, puesto que las terminales interiores actualmente existentes se encuentran relativamente cercanas a las terminales portuarias. Es decir, no se lleva a cabo un análisis holístico del problema ni se plantea la posibilidad de alejar las terminales interiores un poco más de las terminales portuarias

2.-\ Como demuestra el estudio del estado del arte no existe investigación aplicada a terminales interiores de mercancías peligrosas, por lo que los inversores públicos o privados no pueden recurrir a conocimientos científico tecnológicos que les permita cambiar sus actuaciones tradicionales

En EEUU, sin embargo, el sistema de plataformas se ha utilizado desde hace ya mucho tiempo para el layout de las terminales portuarias e interiores.

En segundo lugar en la jerarquización de alternativas aparecen las grúas

pórtico, un 30% por debajo de la ideal como se muestra en la figura 59. Concluimos de esto que según el panel de expertos, si la opción menos tecnificada y más simple, y aquella que requiere menor nivel de inversión, no puede ser, escoge la opción más eficiente desde el punto de vista de la optimización del coste del suelo, y aquella que genera mayores volúmenes de pila, incrementando así el riesgo.

Es decir que el resultado de la aplicación del método AHP/ANP al proceso de toma de decisión del layout de una terminal interior nos sorprende una vez más, puesto la segunda opción es justo la antagónica a la primera en relación con la superficie de suelo necesaria para la disposición de los contenedores.

Esto quizá puede deberse al elevado grado de influencia del criterio coste del suelo. Cuando hay una alternativa que es significativamente mejor para el resto de criterios, aunque para el criterio coste de suelo es la peor, se convierte en la alternativa preferida. No obstante, una vez eliminada esta alternativa, y en ausencia de otra significativamente mejor para el resto de criterios, el panel de expertos prefiere aquella opción que optimiza el suelo.

Esta opción es la actualmente utilizada en las terminales interiores de gran tamaño y con una elevada capacidad de inversión. Generalmente las terminales interiores públicas, también llamados puertos secos (capítulo 3.2)

En la tercera y cuarta posición, muy igualadas entre ellas, y a un nivel de un 55% y 52% frente a la solución de layout ideal, tal y como nos muestra la matriz ideal de la figura 59, aparecen respectivamente la carretilla y la straddle carrier respectivamente, que aportan una solución de compromiso frente al nivel de optimización del suelo y el nivel de riesgo que generan al conseguir apilamientos de contenedores con mercancías peligrosas de tamaño medio.

Esta es la opción preferida actualmente por las terminales interiores de pequeño y mediano tamaño en España y en Europa, tal y como se ha visto en el capítulo 3.2.

Por último figura la reach stacker, o carretilla con brazo telescópico, que es preferida por el panel de expertos a un 40% frente a la solución ideal. Se trata de una opción que disminuye la seguridad al conseguir apilamientos de mercancías peligrosas de mayor volumen, así como incrementa el riesgo durante la manipulación de los contenedores, incrementando así la posibilidad de derrame y de contaminación de las aguas superficiales, y no por ello optimiza sustancialmente el nivel de ocupación del suelo de la terminal frente a las opciones de la carretilla y la straddle carrier.

Es decir, se trata de una opción que frente a la carretilla aporta poco valor y sin embargo genera bastantes inconvenientes desde el punto de vista de seguridad y medioambiental, al considerar la manipulación de contenedores con sustancias peligrosas.



## **CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**



## 6.1 Sensibilidad del modelo frente a los criterios de primer nivel

### 6.1.1 Sensibilidad frente al conjunto de criterios de máquinas y equipos

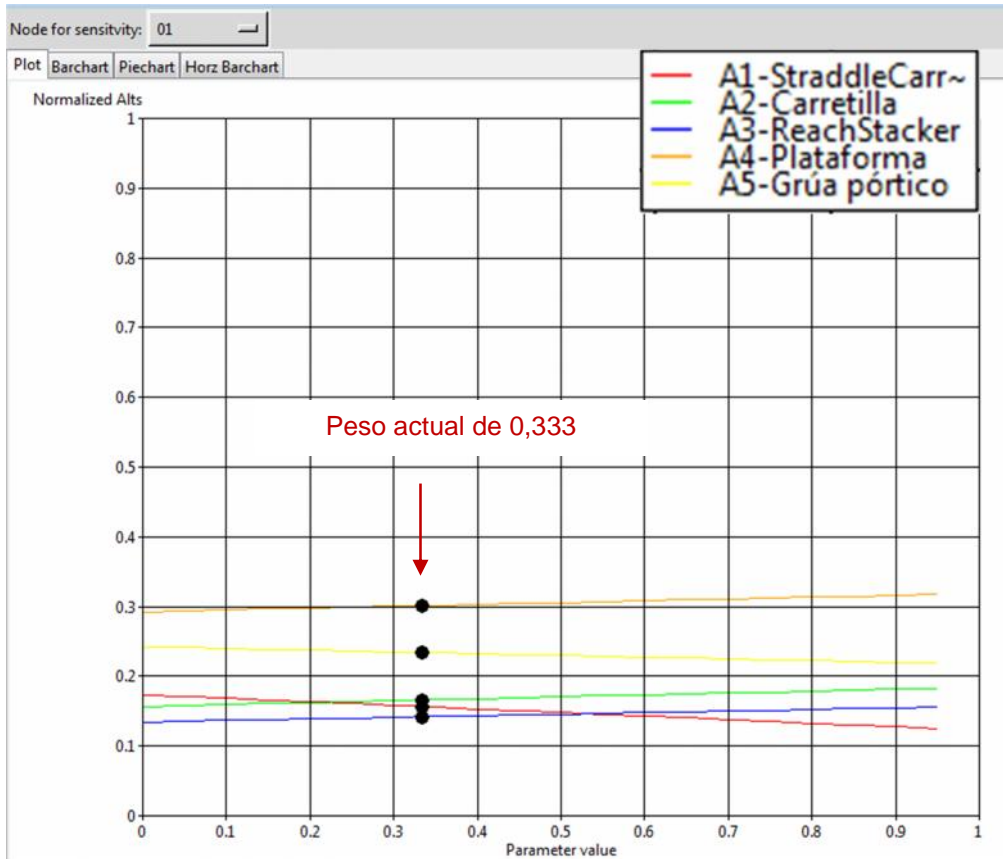


Figura 61 Sensibilidad del modelo al variar el peso del conjunto de criterios de máquinas y equipos

## 6.1.2 Sensibilidad frente al conjunto de criterios de seguridad y protección

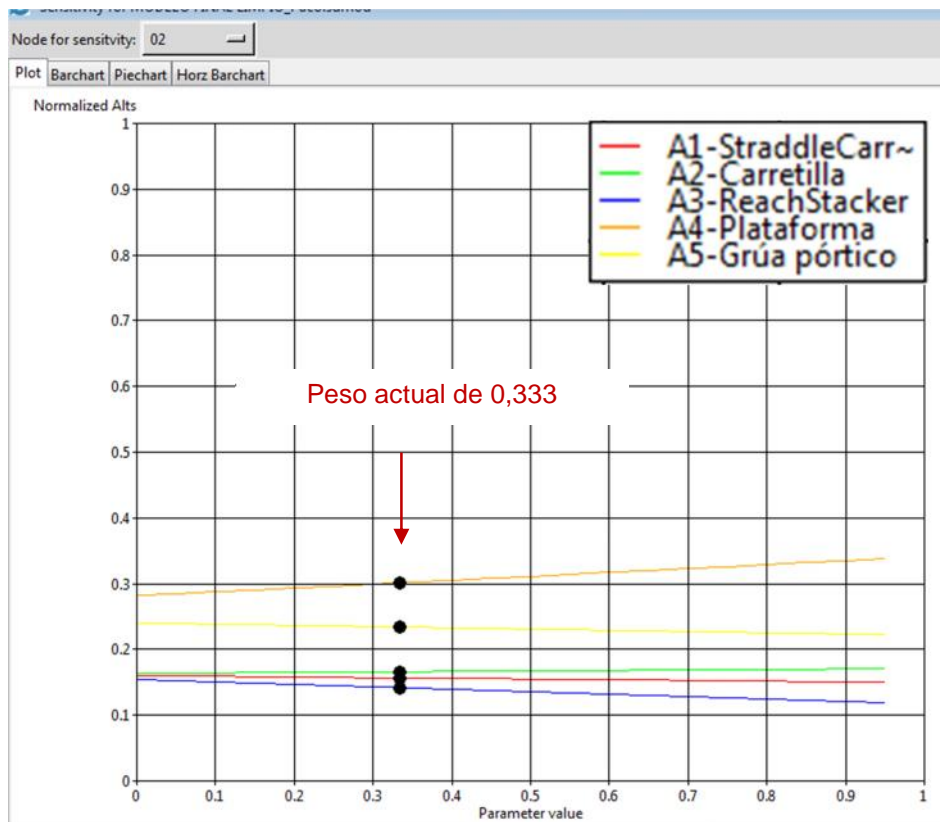


Figura 62 Sensibilidad del modelo al variar el peso del conjunto de criterios de seguridad y protección

### 6.1.3 Sensibilidad frente al conjunto de criterios de medio ambiente

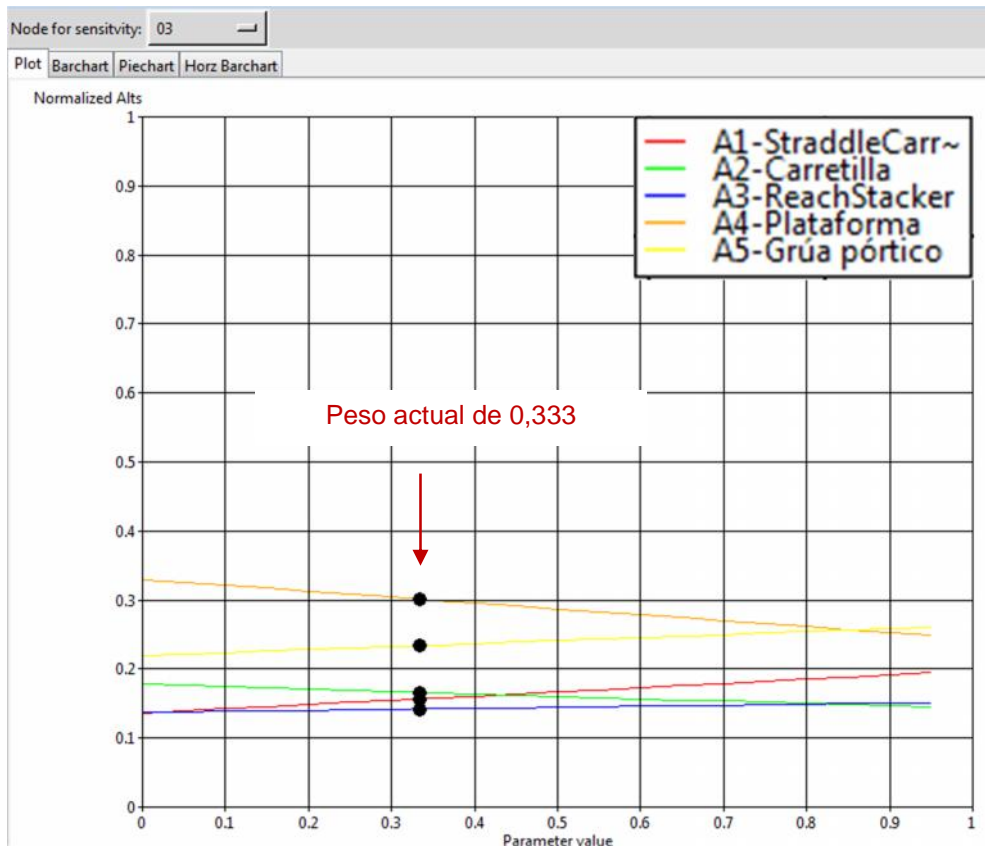


Figura 63 Sensibilidad del modelo al variar el peso del conjunto de criterios de medio ambiente

## 6.2 Sensibilidad del modelo frente a los criterios más influyentes

Vamos a evaluar como varía la jerarquización de las cinco alternativas al modificar de cero a uno el peso “weighted” (peso del criterio frente al “cluster” de primer nivel) de aquellos criterios que en su conjunto representan el 80% del peso total.

Estos criterios más influyentes han sido indicados en la tabla 89.

### 6.2.1 Sensibilidad del modelo frente al criterio C63 (Distancia al núcleo urbano)

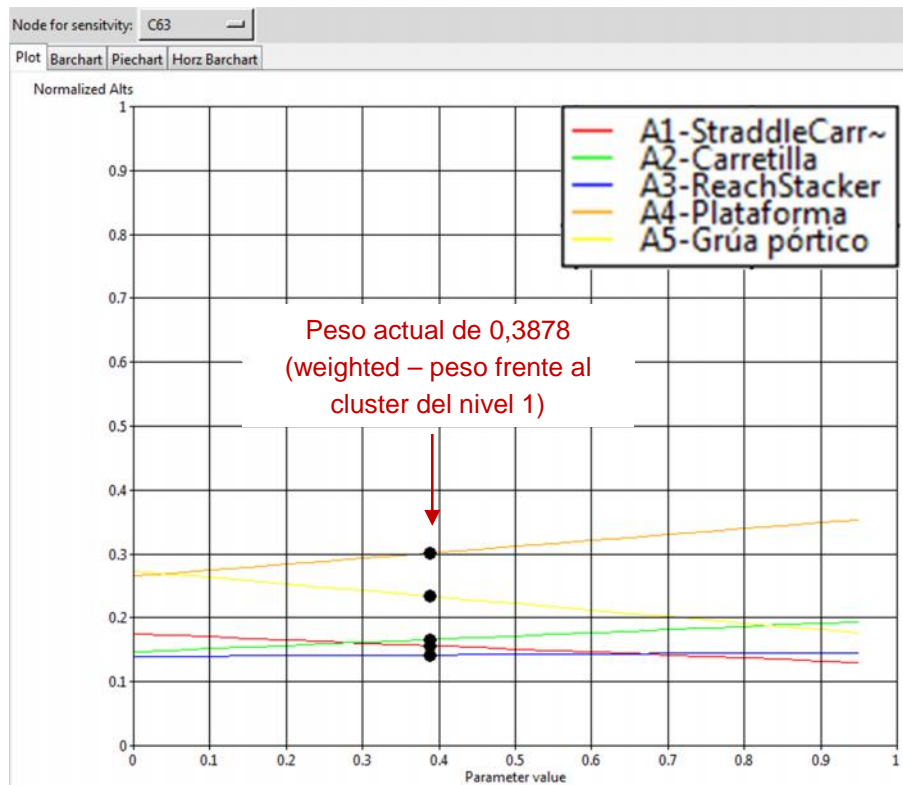


Figura 64 Sensibilidad frente al criterio de distancia al núcleo urbano (C63)

## 6.2.2 Sensibilidad del modelo frente al criterio C12 (Costes del suelo)

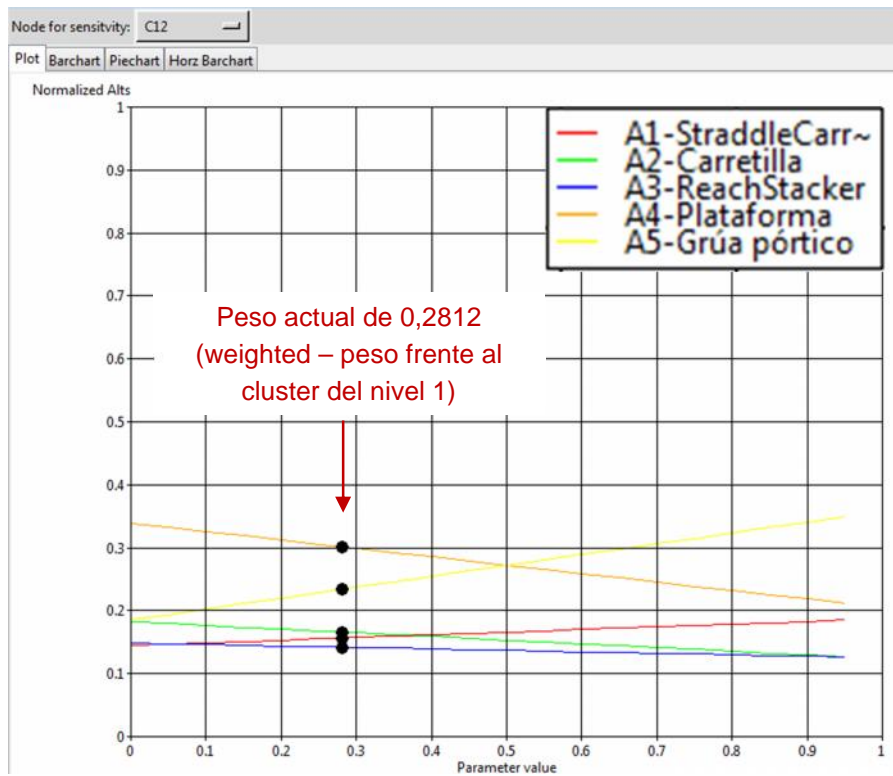


Figura 65 Sensibilidad frente al coste del suelo (C12)

### 6.2.3 Sensibilidad del modelo frente al criterio C71 (Disponibilidad de suelo industrial)

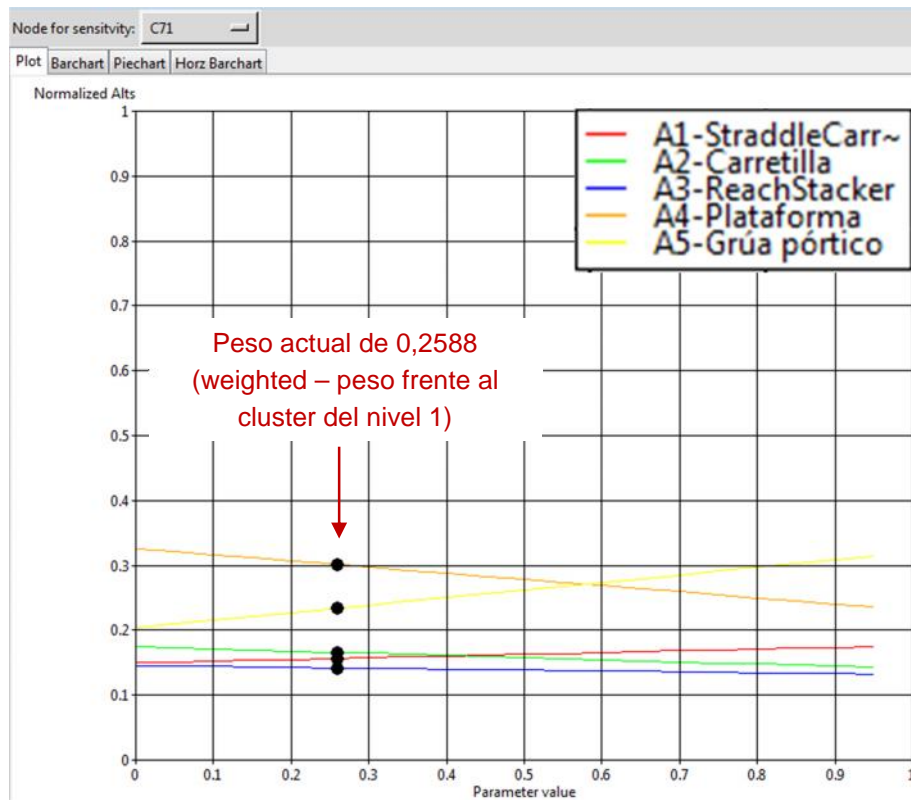


Figura 66 Sensibilidad frente a la disponibilidad de suelo industrial (C71)



## 6.2.4 Sensibilidad del modelo frente al criterio C61 (Peligrosidad de las mercancías)

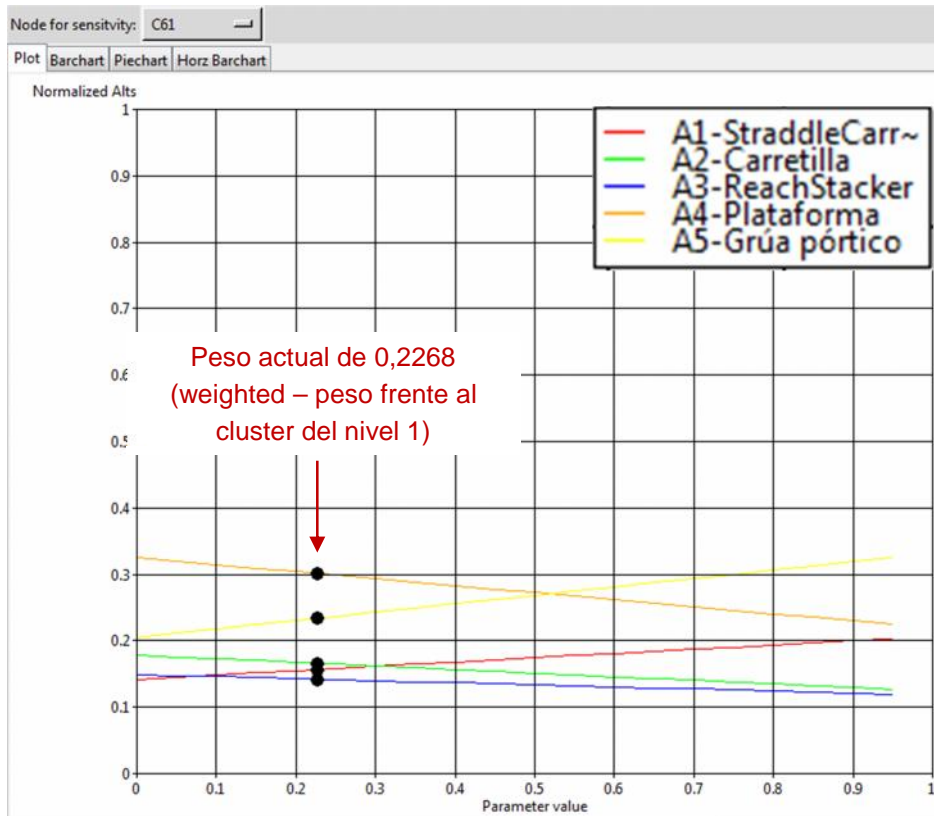


Figura 67 Sensibilidad frente a la peligrosidad de la mercancía (C61)

## 6.2.5 Sensibilidad del modelo frente al criterio C65 (Tiempo de evacuación)

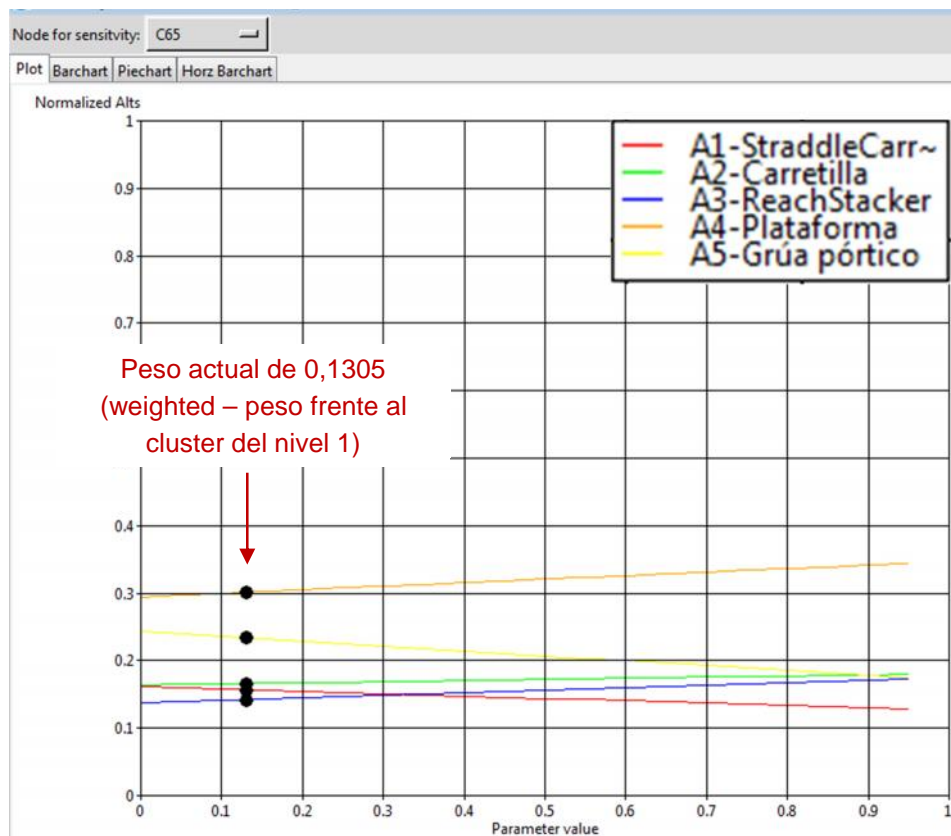


Figura 68 Sensibilidad frente al tiempo de evacuación (C65)

## 6.2.6 Sensibilidad del modelo frente al criterio C62 (Cantidad de sustancias peligrosas)

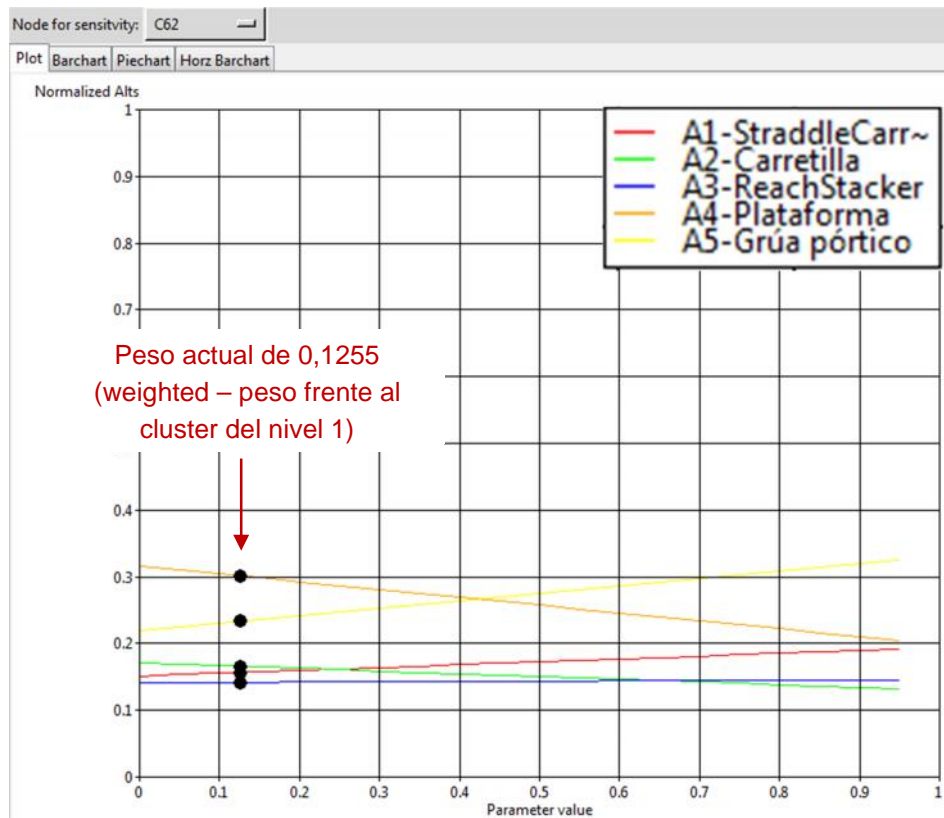


Figura 69 Sensibilidad frente a la cantidad de sustancias peligrosas (C62)

## 6.2.7 Sensibilidad del modelo frente al criterio C24 (Tasa de inactividad)

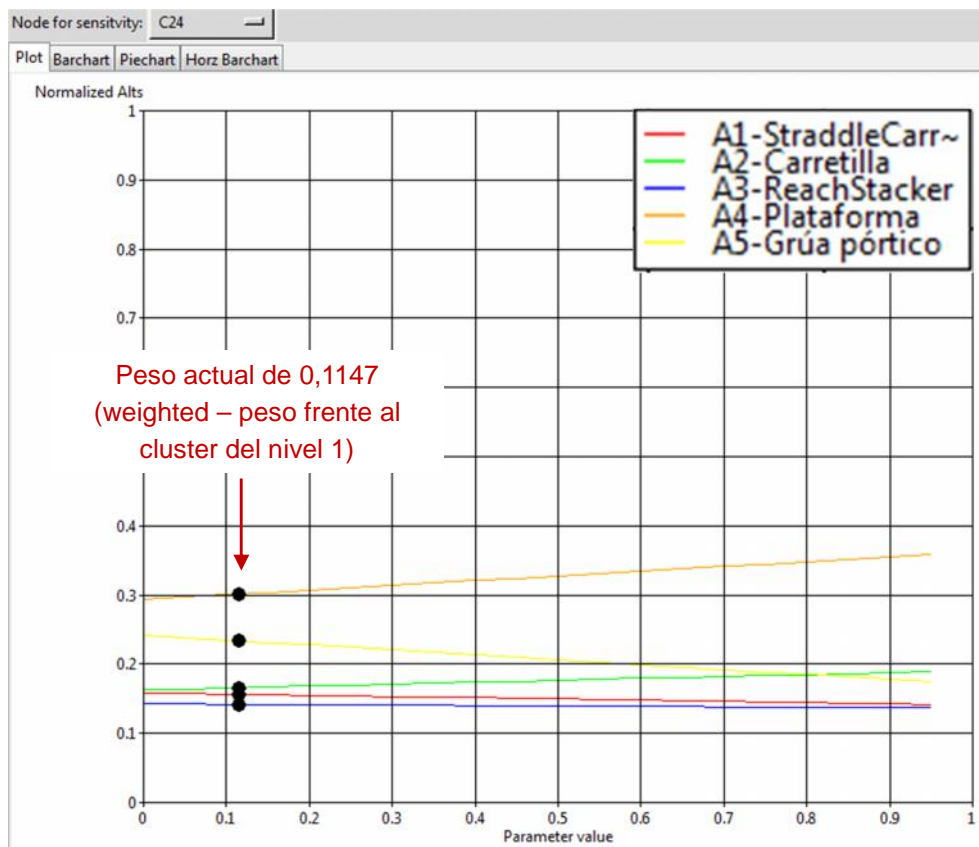


Figura 70 Sensibilidad frente al criterio tasa de inactividad (C24)

## 6.2.8 Sensibilidad del modelo frente al criterio C102 (Consumo de agua durante la construcción de la terminal)

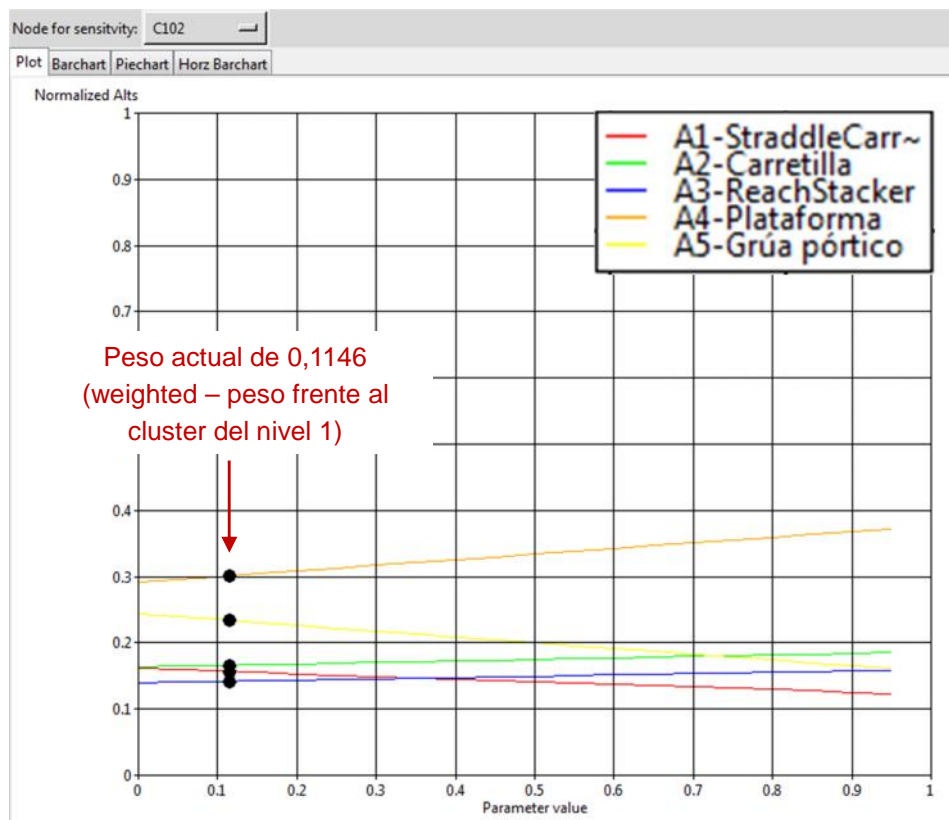


Figura 71 Sensibilidad frente al consumo de agua durante la construcción (C102)

## 6.2.9 Sensibilidad del modelo frente al criterio C11 (Costes de automatización)

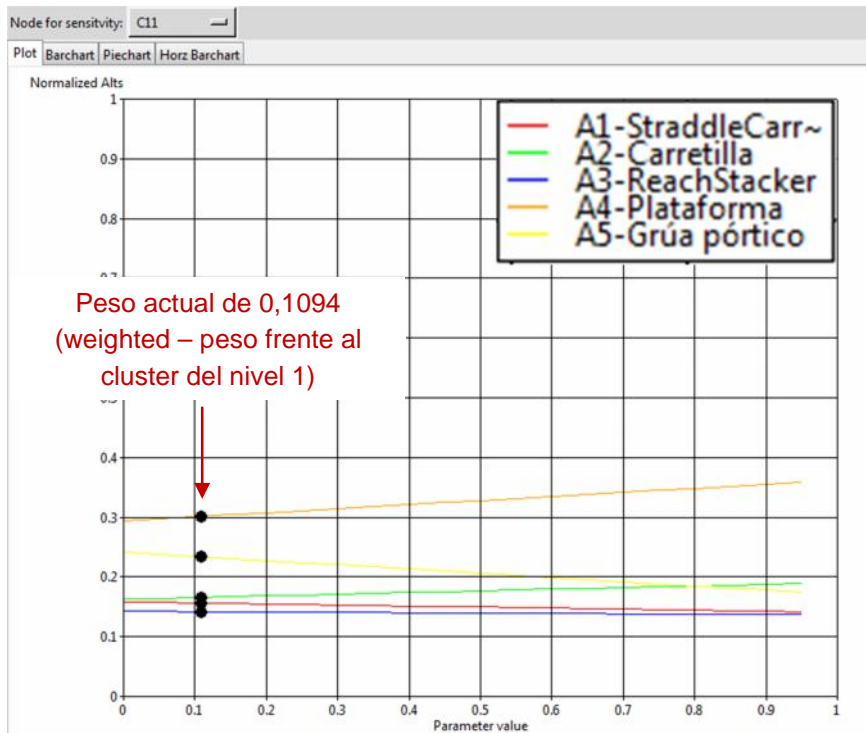


Figura 72 Sensibilidad frente a los costes de automatización (C11)

## 6.2.10 Sensibilidad del modelo frente al criterio C72 (Inundabilidad con aguas contaminadas)

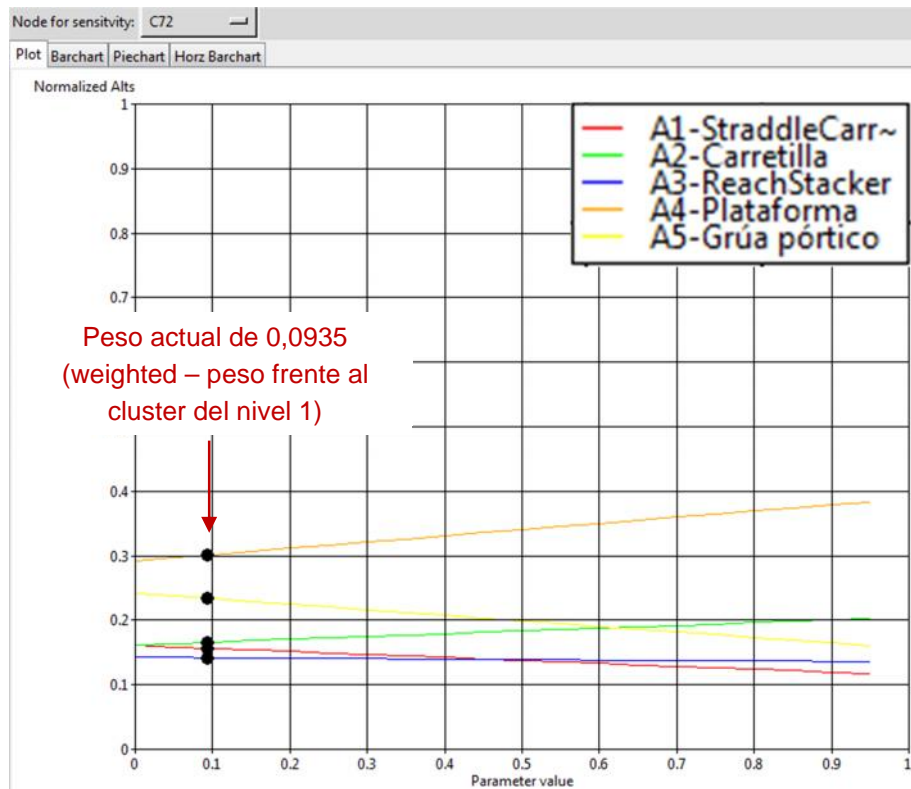


Figura 73 Sensibilidad frente a la inundabilidad con aguas contaminadas (C72)

### 6.2.11 Sensibilidad del modelo frente al criterio C83 (Protección de las aguas subterráneas)

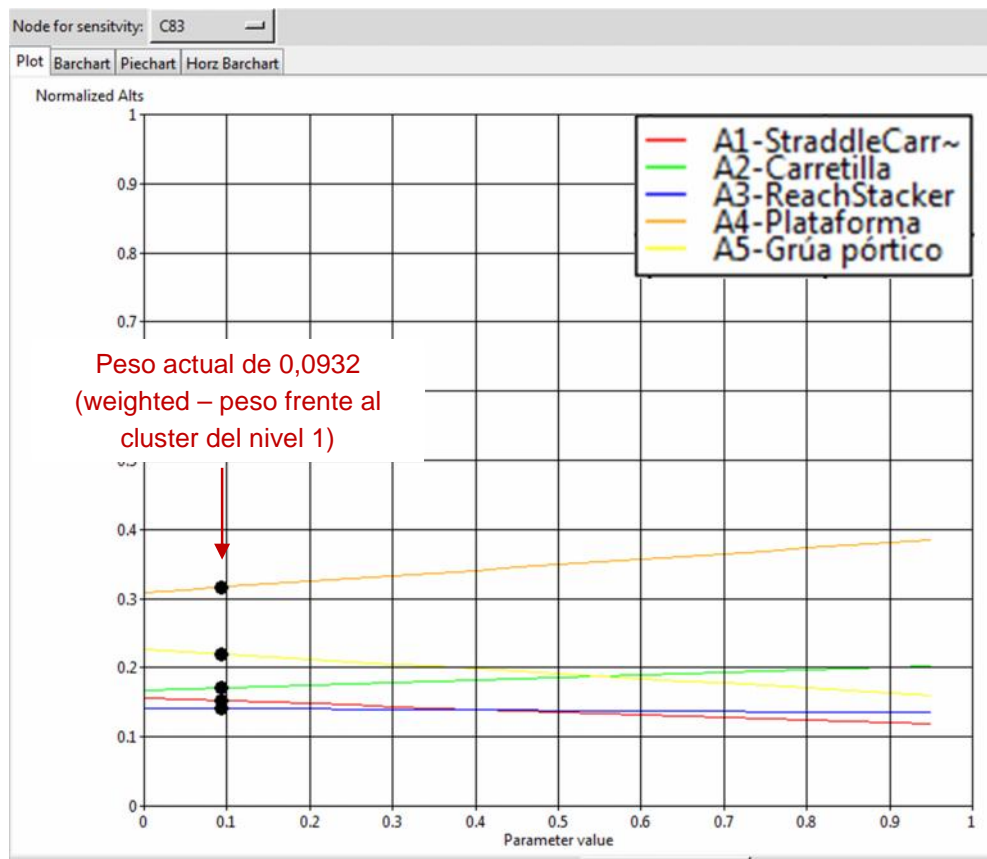


Figura 74 Sensibilidad frente a la protección de aguas subterráneas (C83)



## 6.2.12 Sensibilidad del modelo frente al criterio C14 (Costes de mantenimiento)

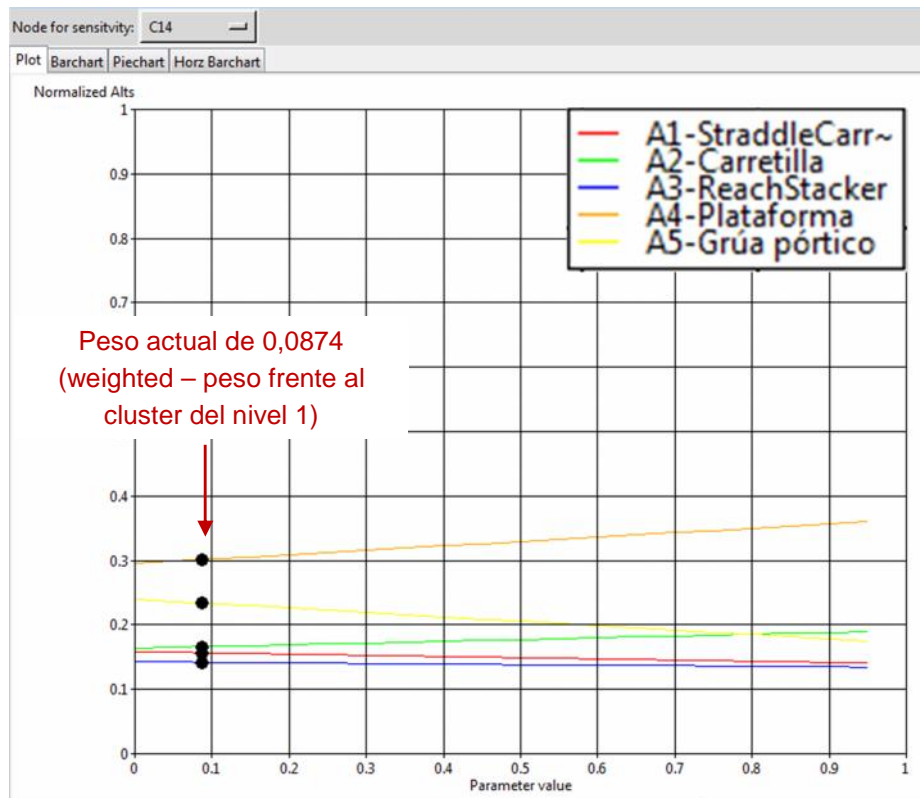


Figura 75 Sensibilidad frente a los costes de mantenimiento (C14)

### 6.2.13 Sensibilidad del modelo frente al criterio C73 (Recursos hídricos cercanos)

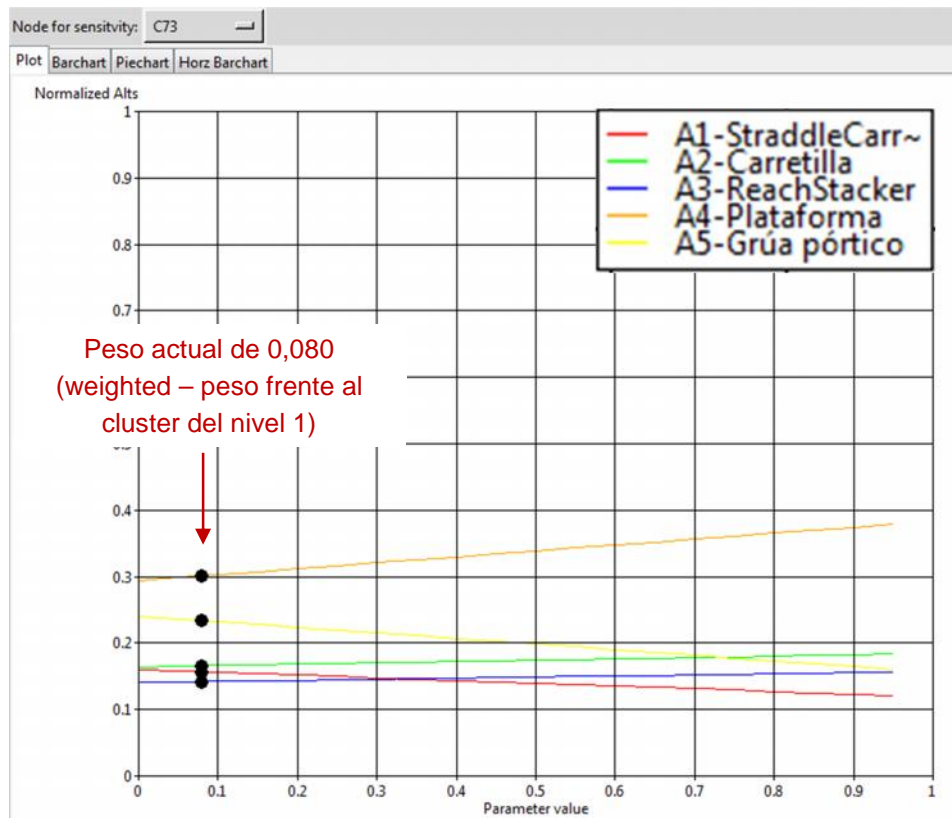


Figura 76 Sensibilidad frente a los recursos hídricos cercanos (C73)

### 6.2.14 Sensibilidad del modelo frente al criterio C66 (Densidad de población cercana a la terminal)

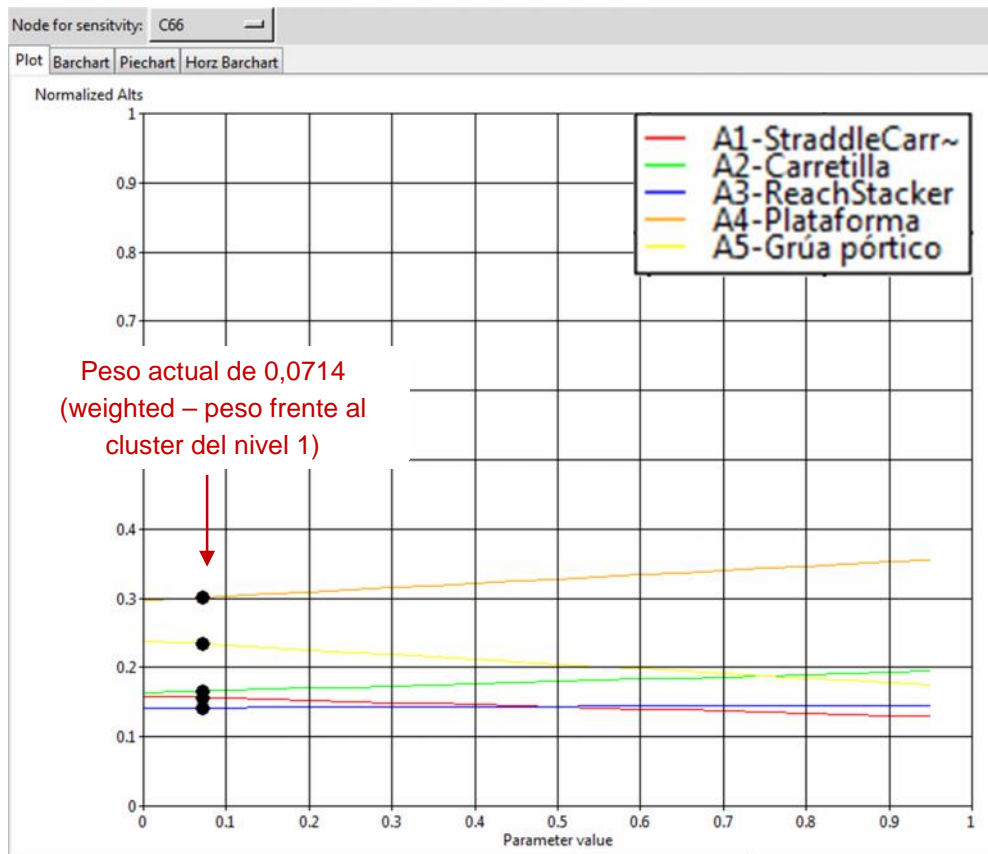


Figura 77 Sensibilidad frente a la densidad de población cercana (C66)

## 6.2.15 Sensibilidad del modelo frente al criterio C41 (Posibilidad de expansión de la terminal)

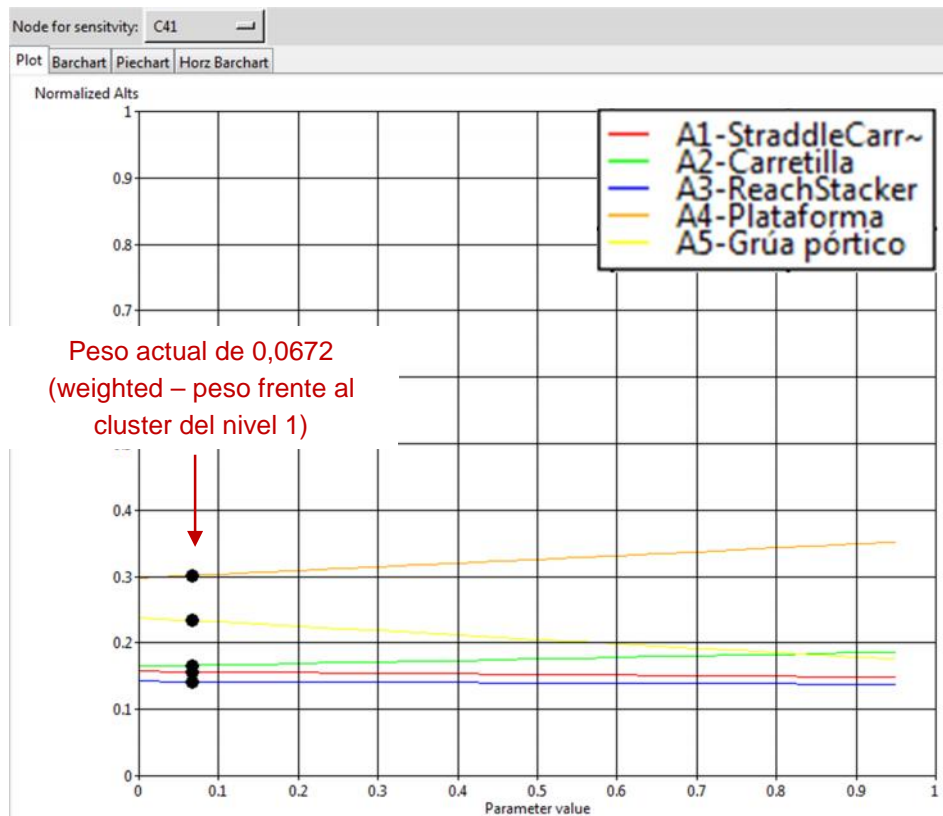


Figura 78 Sensibilidad frente a la posibilidad de expansión de la terminal (C41)

## 6.2.16 Sensibilidad del modelo frente al criterio C52 (Facilidad de uso)

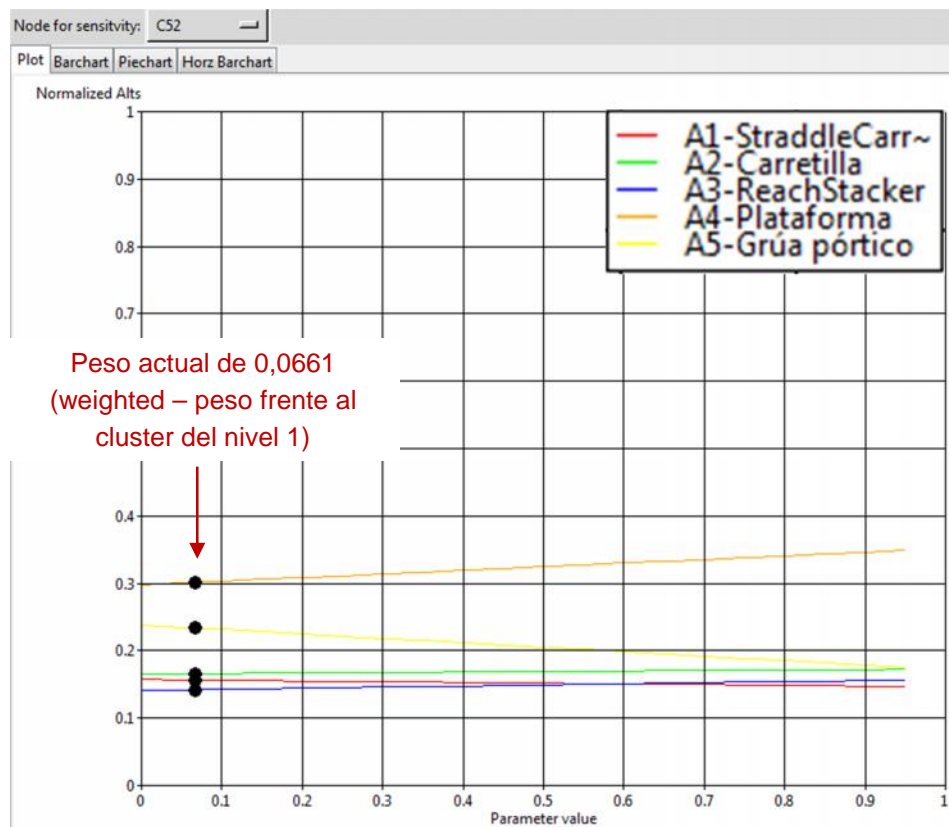


Figura 79 Sensibilidad frente al criterio de facilidad de uso (C52)

## 6.2.17 Sensibilidad del modelo frente al criterio C53 (Adaptabilidad a cambio de escenario)

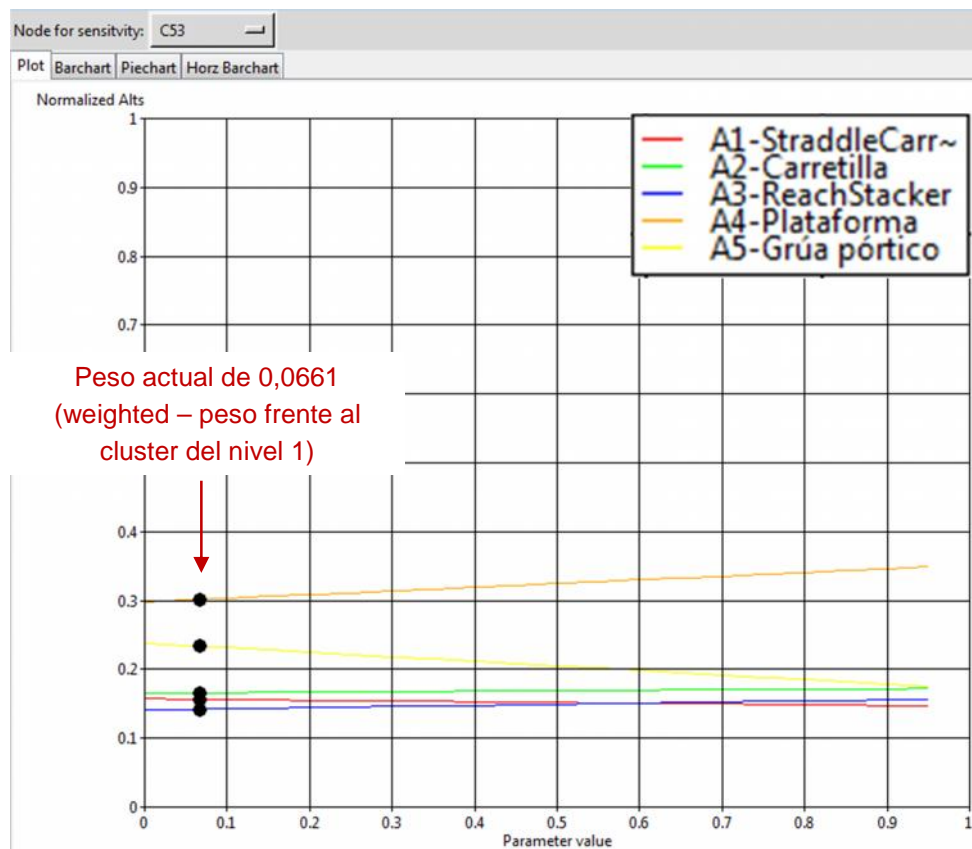


Figura 80 Sensibilidad frente a la adaptabilidad de cambio de escenario (C53)

### 6.2.18 Sensibilidad del modelo frente al criterio C81 (Eficiencia energética – consumo de combustible)

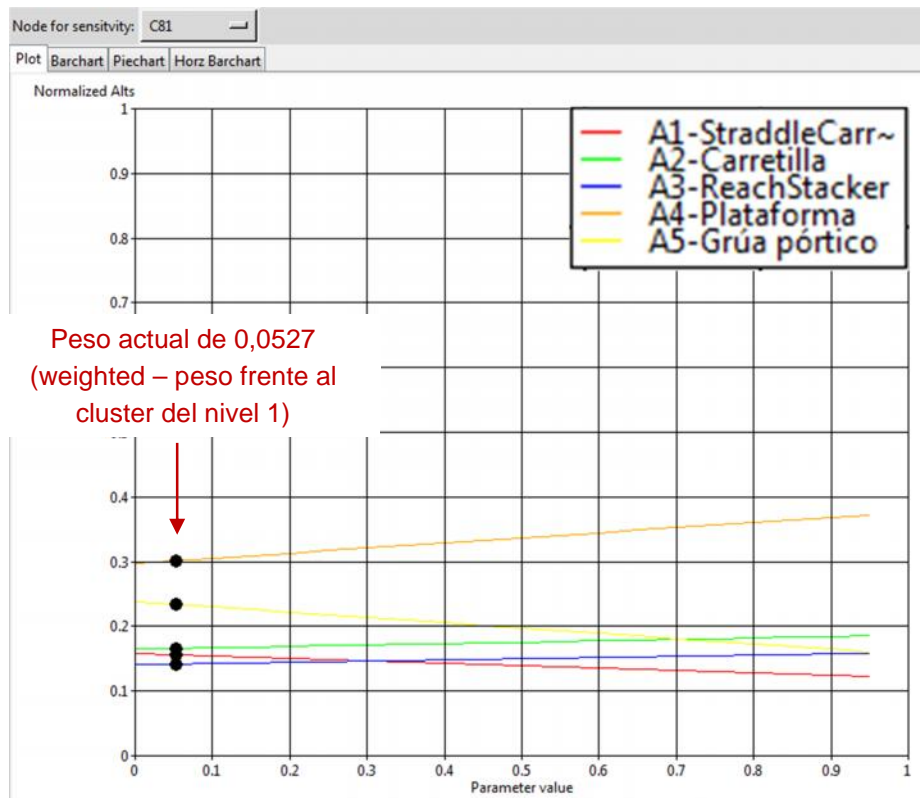


Figura 81 Sensibilidad frente a la eficiencia energética (C81)

## **6.3 Conclusiones del análisis de sensibilidad**

### **6.3.1 Sensibilidad en relación con los bloques de criterios de primer nivel**

Frente a los bloques de criterios de primer nivel podemos hacer el siguiente análisis de estos resultados:

#### **6.3.1.1 Sensibilidad mostrada por la alternativa A1-Straddle Carrier**

El modelo se presenta robusto en cuanto a las preferencias del panel de expertos al variar el peso de los criterios de máquinas y equipos, puesto que para variaciones mayores a un 10% en los pesos de los criterios debería plantearse de nuevo el problema (Saaty 2006).

Para un peso de un 0.3 para cada bloque de criterios, la alternativa A1-Straddle Carrier se encuentra en cuarto lugar. Se encuentra en la tercera posición cuando se asigna a los criterios de máquinas y equipos un peso inferior a 0.22, y en la quinta y última posición para pesos de máquinas y equipos superiores a 0.55. Como se observa en ambos casos, el intervalo de la variación de los pesos para que exista un cambio en las preferencias es superior al 10% frente al peso inicialmente planteado en el problema.

No obstante de las gráficas correspondientes a las figuras 61 y 63, se deduce que cuando sólo se contemplan criterios de medio ambiente, la Straddle Carrier es una opción preferida frente a la carretilla y a la Reach Stacker, sin embargo cuando sólo se consideran criterios propios de máquinas y equipos, la carretilla y la reach stacker serían opciones preferidas frente a la Straddle Carrier.

En cuanto a criterios de seguridad y protección se mantiene estable en una tercera posición independientemente del peso que el panel de expertos asigne a este bloque de criterios.

En conclusión podemos concluir que la Straddle Carrier será una opción preferida entre paneles de expertos que asignen a los criterios medioambientales un elevado peso, y sin embargo será una opción no



deseada entre paneles de expertos que prioricen los criterios de máquinas y equipos.

### **6.3.1.2 Sensibilidad mostrada por la alternativa A2-carretilla**

La carretilla siempre se encuentra por debajo de las preferencias de la solución de layout de las plataformas y la grúa pórtico, independientemente de la variación del peso de los criterios de máquinas y equipos, seguridad y protección, y medio ambiente.

Sin embargo, en la medida que los criterios de máquinas y equipos cobran más relevancia frente a los otros criterios en el proceso de toma de decisión por parte del panel de expertos, la solución de la carretilla pasa a ser preferente frente a la Straddle Carrier.

El cambio de preferencia de la alternativa A2-Carretilla por la A1-Straddle Carrier, se produce para un peso de los criterios de máquinas y equipos de 0.22. Para pesos mayores la carretilla supera a la Straddle Carrier en orden de preferencia.

En cuanto al bloque de criterios de medio ambiente se produce la situación contraria, la carretilla va perdiendo posiciones frente a la Straddle Carrier, produciéndose un cambio de preferencia en un peso correspondiente a los criterios medio ambiental es de 0.44.

En ambos casos el intervalo de variación en el peso de los criterios es superior al 10%.

El orden de preferencia de la carretilla se mantiene estable, en una tercera posición, independientemente de la variación del peso de los criterios de seguridad y protección.

### **6.3.1.3 Sensibilidad mostrada por la alternativa A3-Reach Stacker**

La alternativa de la reach stacker con layouts definidos por filas de 3 contenedores siempre se encuentra en una cuarta o quinta posición, independientemente de la variación de los pesos de los bloques de criterios de máquinas y equipos, seguridad y protección, y medio ambiente.

No obstante existen pequeños matices que conviene resaltar en este análisis. La alternativa de la reach stacker se prioriza frente a la Straddle Carrier cuando se le da más importancia a los criterios de máquinas y equipos. Este cambio en la preferencia de la A3-Reach Stacker frente a la A1-Straddle Carrier se produce para un peso de máquinas y equipos de 0.55.

Sin embargo, la alternativa de la A3-Reach Stacker pasa a ser menos preferente que la alternativa A1-Straddle Carrier para pesos de los criterios medio ambientales superiores a 0.1.

Cuando el peso de los criterios medio ambientales es superior 0.8, la A3-Reach Stacker es prioritaria frente a la opción A2-Carretilla, con layouts de 2 TEUs por fila.

No obstante al igual que ocurre con el análisis de sensibilidad correspondiente a las dos alternativas anteriormente analizadas, el cambio de preferencias se produce para cambios en los pesos superiores al 10%.

El orden de preferencia de la alternativa A3-Reach Stacker no varía frente a variaciones en el peso de los criterios de seguridad y protección.

#### **6.3.1.4 Sensibilidad mostrada por la alternativa A4-Plataforma**

La alternativa del uso de las plataformas, y su layout asociado de filas de un contenedor a una altura, se encuentra siempre en primera posición independientemente de la variación del peso de los criterios de máquinas y equipos y seguridad y protección.

Sólo al analizar las preferencias frente a la variación del peso de los criterios medio ambientales, vemos que se produce un cambio en la alternativa ideal a partir de pesos de los criterios medio ambientales superiores 0.85, en tal caso la alternativa de las plataformas deja de ser la prioritaria para el panel de expertos en beneficio de la alternativa A6-grúa pórtico.

No obstante una vez más este cambio de preferencias se produce para variaciones de pesos superiores al 10%

#### **6.3.1.5 Sensibilidad mostrada por la alternativa A5-Grúa pórtico**

Las conclusiones del análisis de sensibilidad para la alternativa A6-grúa pórtico son las mismas que las descritas anteriormente para la alternativa A5-Plataformas, no obstante aquí la descripción es la recíproca:

Esta alternativa se mantiene siempre en segundo lugar independientemente de la variación de los pesos de los criterios de máquinas y equipos y de seguridad y protección, pero pasa a ser la opción prioritaria para el panel de expertos, superando a la alternativa A5-Plataformas, cuando estos asignan a los criterios medio ambientales un peso superior al 0.85, lo que supone una variación mayor al 10% del peso inicialmente asignados por el panel de expertos (0.33)

### 6.3.2 Sensibilidad en relación con los bloques de criterios de segundo nivel

Tras este análisis de sensibilidad donde se ha evaluado la evolución de las preferencias frente a variaciones en el peso de los criterios más influyentes (aquellos que acumulan el 80% del peso total), se ha observado robustez en el modelo donde las alternativas A4-plataformas y A5-grúas pódico figuran prácticamente siempre como alternativas preferentes.

La alternativa A4-plataformas es la alternativa ideal independientemente de la variación del peso de los criterios más influyentes, excepto para algunos de estos criterios donde la alternativa A5-grúa pódico se posiciona como opción ideal por delante de la alternativa A4-plataforma a partir de un determinado peso del criterio:

Código del criterio	Denominación del criterio	Peso asignado por el panel de expertos	Peso a partir del cual hay un cambio de preferencia ideal
C63	Distancia al núcleo urbano	0.39	0.05
C12	Costes del suelo	0.28	0.5
C71	Disponibilidad de suelo industrial	0.26	0.6
C61	Peligrosidad de las mercancías	0.23	0.5
C62	Cantidad de sustancias peligrosas	0.12	0.45

Tabla 90 Relación de criterios y pesos para los que se produce un cambio en la alternativa ideal

La alternativa A2-carretilla supera a la A5-grúa pódico, ocupando así la segunda posición, sólo para unos determinados pesos de los criterios que se indican a continuación:

Código del criterio	Denominación del criterio	Peso asignado por el panel de expertos	Peso a partir del cual hay un cambio de alternativa en la segunda posición de preferencias
C63	Distancia al núcleo urbano	0.39	0.85
C65	Tiempo de evacuación	0.13	0.90
C24	Tasa de inactividad	0.11	0.85
C102	Consumo de agua durante la construcción de la terminal	0.11	0.81
C11	Costes de automatización	0.10	0.85
C72	Inundabilidad con aguas contaminadas	0.09	0.65
C83	Protección de las aguas subterráneas	0.09	0.55
C14	Costes de mantenimiento	0.08	0.80
C73	Recursos hídricos cercanos	0.08	0.75
C66	Densidad de población cercana a la terminal	0.07	0.80
C41	Posibilidad de expansión de la terminal	0.06	0.85
C81	Eficiencia energética – consumo de combustible	0.05	0.70

Tabla 91 Relación de criterios y pesos para los que se produce un cambio en la segunda posición de preferencias

Como se observa estos cambios de preferencias se producen siempre para variaciones en los pesos superiores a un 10%, y para estas variaciones en los pesos de los criterios sería recomendable plantear de nuevo el problema al panel de expertos (Saaty 2006), por lo que se concluye que las preferencias mostradas son estables frente a variaciones

en los pesos de los criterios.

En relación con el resto de alternativas y las variaciones en su orden de preferencia al variar el peso de los criterios, no se observa nada relevante digno de comentario más allá de la propia lectura de las gráficas expuestas anteriormente.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**





La globalización de la economía hace que los centros de obtención de las materias primas, los de producción y los de consumo no sean los mismos y se encuentren distantes.

Además el crecimiento mundial de la economía hace que los volúmenes de las mercancías transportadas entre estos lugares sean cada vez mayores.

Las largas distancias y el gran volumen que se necesita transportar hace imprescindible el uso del transporte marítimo que proporciona una solución eficiente a estas demandas.

Y como este transporte debe realizarse puerta a puerta, la intermodalidad es necesaria, lo que hace del transporte en contenedor cada vez más necesario y utilizado.

Por otro lado, la producción de sustancias químicas también se incrementa con el tiempo al crecer la tecnología y el número de procesos industriales necesarios para cubrir las demandas de la sociedad

Muchas de estas sustancias químicas tienen peligros inherentes a su composición química, peligros que pueden causar daños a las personas, al medio ambiente o a los bienes o equipos.

Existen unas restricciones legales en los puertos marítimos para la permanencia de estas mercancías en las terminales portuarias en función del tipo de peligro de las mismas.

El tener el centro productor de las materias primas lejos del centro de producción de los productos acabados obliga a adquirir grandes cantidades de productos y no poder aplicar sistemas "just in time", pero por el contrario las instalaciones de las industrias son cada vez más reducidas y optimizadas

Se genera entonces un conflicto entre las exigencias legales de las autoridades portuarias que obligan a sacar fuera del recinto portuario los contenedores con mercancías peligrosas y las instalaciones de las

industrias que no son capaces de almacenar el producto comprado en mercados lejanos y a los que no se puede recurrir bajo el sistema “just in time”

Las terminales interiores para la manipulación de mercancías peligrosas vienen a resolver este conflicto, lo que augura una proliferación de las mismas y una necesidad inminente de estudio e investigación para un mejor diseño de las mismas desde todos los puntos de vista.

Todo esto justifica esta investigación con una gran aplicabilidad a las necesidades del futuro y que no hace más que abrir un campo todavía inexplorado con muchas posibilidades para la investigación y la generación de conocimiento

El estudio del estado del arte así lo demuestra, pocas son las investigaciones centradas en terminales interiores, y aún menos aquellas que centran su investigación en terminales donde se manipulan contenedores con mercancías peligrosas.

La utilización de unas máquinas y equipos para la manipulación de contenedores define de forma biunívoca un layout en la terminal. Esta investigación se centra en la optimización del diseño del layout de este tipo de terminales a través de un proceso de priorización de las máquinas y equipos susceptibles de ser utilizados en las mismas.

En este proceso de priorización se ha considerado la peligrosidad de las mercancías manipuladas, los servicios susceptibles de ser prestados por una terminal interior, adicionalmente a la manipulación y almacenamiento de los contenedores, así como toda la legislación y buenas prácticas aplicables al almacenamiento de las mercancías peligrosas

El método que se ha elegido para priorizar las distintas alternativas de máquinas y equipos, con el fin de optimizar el diseño del layout de una terminal ha sido el método AHP (Analytic Hierarchic Process) / ANP (Analytic Network Process) debido a que es un método contrastado en el mundo científico técnico como lo demuestra el estudio del estado del arte y

el gran número de aplicaciones que ha tenido este método en distintas áreas del conocimiento.

Se trata de un método que nos ayudará a optimizar el diseño del layout de una terminal interior en la que se manipulan mercancías peligrosas mediante una jerarquización de alternativas en base a las preferencias subjetivas de un panel de expertos minuciosamente seleccionada en cada una de las áreas influyentes: máquinas y equipos, seguridad y protección y medio ambiente.

Este proceso de toma de decisión es subjetivo y considera las preferencias en el momento actual de un panel de expertos que se encuentra en un determinado lugar, con una determinada cultura y sensibilidad hacia la productividad, la seguridad y el medio ambiente.

Para poder evaluar posibles variaciones en las preferencias al modificar los pesos de los criterios asignados por el panel de expertos se ha realizado un análisis de sensibilidad que ha mostrado robustez en el orden de preferencias de las cinco alternativas planteadas.

La aplicación del método AHP/ANP nos ha permitido realizar un análisis holístico desde tres puntos de vista: máquinas y equipos, seguridad y protección y medio ambiente, para conseguir la optimización del layout de una terminal interior con mercancías peligrosas a partir de la jerarquización de cinco alternativas de máquinas y equipos susceptibles de ser utilizados en la terminal.

El resultado de este análisis holístico ha sido sorprendente en la medida que la alternativa ideal no es la habitualmente utilizada en las terminales interiores Españolas y Europeas

Este proceso de jerarquización ha dado como alternativa prioritaria el layout generado por la utilización de plataformas, puesto que ha sido el equipo de manipulación de contenedores que aparece en primer lugar en el proceso de jerarquización.

Este resultado es razonable en la medida que:

- 1.-\ Las terminales interiores pueden ubicarse en zonas no excesivamente caras desde el punto de vista económico
- 2.-\ Las plataformas no requieren de gran inversión inicial ni conllevan unos costes de automatización y de mantenimiento elevados
- 3.-\ El personal que manipula las plataformas no requiere una formación especializada y por tanto sus costes son menores
- 4.-\ Desde un punto de vista de seguridad, su layout asociado no genera grandes volúmenes de pila con sustancias peligrosas disminuyendo así el riesgo
- 4.-\ Desde un punto de vista medio ambiental no tienen grandes consumos en su manipulación, ni generan gran cantidad de residuos

Sería positivo difundir los resultados de esta investigación entre todos aquellos gestores de terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas en España y en Europa para que consideren la alternativa de la utilización de plataformas como una opción prioritaria frente a las alternativas habitualmente utilizadas

En EEUU se utiliza con éxito este sistema desde hace mucho tiempo en terminales marítimas. No obstante, al plantear esta solución para terminales interiores, se potencian sus ventajas.

Esta investigación proporciona un modelo holístico para el diseño básico del layout de terminales interiores de contenedores con mercancías peligrosas, que puede ser aplicado a diferentes casos de estudio particularizando las matrices de preferencia en cada caso, y priorizando las alternativas de layout existentes en base a las preferencias mostradas.

En próximos trabajos puede aplicarse este mismo modelo para evaluar alternativas existentes en relación con las aplicaciones TICs (Tecnologías de la información y la comunicación) y BI (Business intelligence), de forma que el sistema global de gestión automática de la información sea el mejor para las necesidades de una terminal con unas determinadas condiciones de contorno.

También puede aplicarse esta metodología al proceso de selección entre diferentes alternativas en otros campos relacionados con el diseño de las terminales interiores de mercancías peligrosas, tales como los servicios prestados por la terminal, o los peligros de las mercancías peligrosas aceptados por la terminal.

La etapa de divulgación y difusión del trabajo se abordará en una fase posterior a través de artículos en revistas científicas, así como en la participación de congresos de transporte que aborden temáticas de esta índole.

La investigación realizada está alineada con las necesidades europeas planteadas en programas de investigación como el Horizon 2020 – Work Programme Transport 2016-2017 (Smart, green and integrated transports), donde se define el tópico “MG-7-2-2017- Optimisation of transport infrastructures including terminals”.

Esta investigación se podría tipificar en esta línea para conseguir objetivos mayores, como la validación del modelo en diferentes casos de estudio definidos bajo distintas condiciones de contorno.



## **CAPÍTULO 8. REFERENCIAS**





ADR. Enmiendas a los Anejos A y B del Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2015) adoptadas en Ginebra el 1 de julio de 2014

a.V. Goodchild & Daganzo.C.F.. 2007. Crane double cycling in container ports: Planning methods and evaluation. *Transportation Research Part B: Methodological*. 41 (8).pp.875–891. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0191261507000203>.

Alessandri, a, C Cervellera, M Cuneo, M Gaggero, and G Soncin. 2008. Modeling and Feedback Control for Resource Allocation and Performance Analysis in Container Terminals. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* 9 (4): 601–614.

Aragonés-Beltrán, P., F. Chaparro-González, J.P. Pastor-Ferrando, and F. Rodríguez-Pozo. 2010. An ANP-Based Approach for the Selection of Photovoltaic Solar Power Plant Investment Projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1): 249–264. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109001385>.

Aragonés-Beltrán, Pablo, Fidel Chaparro-González, Juan-Pascual Pastor-Ferrando, and Andrea Pla-Rubio. 2014. An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-Based Multi-Criteria Decision Approach for the Selection of Solar-Thermal Power Plant Investment Projects. *Energy* 66. pp: 222–238. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544213010736>.

Ballis.A. & Golias.J.. 2002. Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 36. pp.593–611.

Bian, Z.; Yang, Y.; Mi, W., and Mi, C., 2015. Dispatching Electric AGVs in Automated Container Terminals with Long Travelling Distance. *Journal of coastal research* 73:75-81. March 2015

Binding. C. Dolivo, F., Hermann R., Husemann D., Schade A.. 2008. Securing trade lanes using an autonomous tracking device. *IET intelligent transport systems* 3(3):268-281.

Bostel N. & Dejax P..1998. “Models and Algorithms for container allocation problems on trains in a rapid transshipment shunting yard”. *Transportation Science*. 32 (4) pp. 370-379

Chen.G..Govindan.K. & Golias.M.M.. 2013. Reducing truck emissions at container terminals in a low carbon economy: Proposal of a queueing-based bi-objective model for optimizing truck arrival pattern. *Transportation Research Part E: Logistics*

and Transportation Review.55(X).pp.3–22. Available at:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2013.03.008>.

Cheung.R. & Chen.C-Y 1998 A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem. Transportation Science.Vol.32. No. 2. pp. 142-162

Cullinane, Kevin, Teng-Fei Wang, Dong-Wook Song, and Ping Ji. 2006. The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. Transportation Research Part A: Policy and Practice 40 (4): 354–374. Available at:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965856405001072>.

European Commision. 2009. European Best Practice Guidelines on Cargo Securing for Road Transport. .pp.1–208. Available at:  
<http://www.transportsfriend.org/int/forms/eu-load-safety.pdf>.

Evers.J.J.M. & Koppers. S. a J.. 1996. Automated Guided Vehicle Traffic Container Terminal Control. *Science*. 30(1).pp.21–34.

FEPORIS (Instituto portuario de estudios y cooperación). Evaluación de las potencialidades de una terminal de transferencia de contenedores propuesta con respecto a futuros servicios. Noviembre 2009.

Golbabaie. S.R. Seyedalizadeh G & Arabshahi N. 2010 Multi-criteria evaluation of stacking yard configuration.Journal of King Saud University - Science. 24. (1) pp 39-46

Hamidou, Mansoriya, Dominique Fournier, Eric Sanlaville, and Frédéric Serin. 2014. Management of Dangerous Goods in Container Terminal with MAS Model. arXiv Preprint arXiv: ..., p. 8. Available at: <http://arxiv.org/abs/1403.7152>.

Hanaoka.S. & Regmi.M.B..2011. Promoting intermodal freight transport through the development of dry ports in Asia: An environmental perspective. IATSS Research.35 (1).pp.16–23. Available at:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.iatssr.2011.06.001>.

Harris, Gregory, Bernard Schroer, Michael Anderson, and D Moëller. 2009. Resources to Minimize Disruption Caused by Increased Security Inspection of Containers at an Intermodal Terminal. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2097: 109–116. Available at:  
<http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2097-13>.

- Hasan.M.H.,Mahlia.T.M.I. & Nur.H.. 2012. A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.16(4).pp.2316–2328. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032111005995>.
- IATA. 56ª edición del Reglamentación sobre transporte de mercancías peligrosas por vía aérea adoptado por la IATA (*International air transport association*) en Montreal-Ginebra. Año 2015.
- IMDG. Enmiendas de 2014 al código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG 37-14) adoptadas por la IMO (*International Maritime Organization*)
- Kang.S.. Medina.J.C. & Ouyang.Y.. 2008. Optimal operations of transportation fleet for unloading activities at container ports. *Transportation Research Part B: Methodological*. 42 (10).pp.970–984. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0191261508000192>.
- Khan.S. & Faisal.M.N.. 2008. An analytic network process model for municipal solid waste disposal options. *Waste Management*. 28 (9).pp.1500–1508. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X07002310>.
- Kim.K.H. & Kim.H.B.. 2002. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. *Transportation Research Part B: Methodological*. 36. pp.821–835.
- Lee.B.K. & Kim.K.H.. 2010. Optimizing the block size in container yards. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.46(1).pp.120–135. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136655450900088X>.
- Lee.B.K. & Kim.K.H.. 2013. Optimizing the yard layout in container terminals. *OR Spectrum*. 35 (2).pp.363–398.
- Linkov & Ramadan. 2004. Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making. <http://www.springer.com/us/book/9781402018954>
- Liu.C.I.,Jula.H. & Ioannou.P. a. 2002.Design.simulation.and evaluation of automated container terminals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.3 (1).pp.12–26. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=994792>.
- M Al-Atawi.A.. Kumar.R. & Saleh.W..2015. Transportation sustainability index for Tabuk city in Saudi Arabia: an analytic hierarchy process.

*Transport*.(October).pp.1–9. Available at:  
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3846/16484142.2015.1058857>.

Ministerio de Fomento. <http://www.fomento.es/NR/ronlyres/E2B85F3B-6EAE-488B-AFF0-0CCAF3BB8A02/15982/05121313.pdf>[Consultada en Abril de 2010]

Monfort A., Aguilar J., Vieira P., Monterde N., Obrer R., Calduch D., Martín, A.M., Sapiña, R. 2011. *Manual de capacidad portuaria” aplicación a terminales de contenedores*. Editado por Fundación VALENCIA PORT

Narasimhan. A. & Palekar.U.S..2002. Analysis and Algorithms for the Transtainer Routing Problem in Container Port Operations. *Transportation Science*.36(1).pp.63–78. Available at:  
<http://transci.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/trsc.36.1.63.576>.

Niérat.P.. 1997. Market area of rail-truck terminals: Pertinence of the spatial theory. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 31 (2).pp.109–127.

RID. Enmiendas al Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por ferrocarril (RID 2015), Anejo al Convenio relativo a los Transportes Internacionales por Ferrocarril (COTIF).

Saaty.T.L.. 2006. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*.168 (2).pp.557–570. Available at:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037722170400311X>.

Steenken.D.. Voß.S. & Stahlbock.R.. 2005. Container terminal operation and operations research - A classification and literature review. *Container Terminals and Automated Transport Systems: Logistics Control Issues and Quantitative Decision Support*.pp.3–49.

Taniguchi, Eiichi, Michihiko Noritake, Tadashi Yamada, and Toru Izumitani. 1999. *Optimal Size and Location Planning of Public Logistics Terminals*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 35 (3): 207–222.

Tramarico, Claudemir Leif, Daniele Mizuno, Valério Antonio Pamplona Salomon, and Fernando Augusto Silva Marins. 2015. Analytic Hierarchy Process and Supply Chain Management: A Bibliometric Study. *Procedia Computer Science* 55 (Itqm): 441–450. Available at:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050915014805>

Vis. I.F. a..de Koster. R. (M. .B.M. & Savelsbergh.M.W.P.. 2005. Minimum Vehicle Fleet Size Under Time-Window Constraints at a Container Terminal.

*Transportation Science*.39(2).pp.249–260. Available at:  
<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.1030.0063>.

Wiese.J., Suhl.L. & Kliewer.N.. 2013. An analytical model for designing yard layouts of a straddle carrier based container terminal. *Flexible Services and Manufacturing Journal*.25(4).pp.466–502.

Yang. C.-C., Tai.H.-H. & Chiu. W.-H.. 2014. Factors influencing container carriers' use of coastal shipping. *Maritime Policy & Management*.41(2).pp.192–208.  
Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03088839.2013.818729>.

Yang. Y.C. & Lin.C.L.. 2013. Performance analysis of cargo-handling equipment from a green container terminal perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 23. pp.9–11. Available at:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2013.03.009>.

Yang.Y-C & Shen K-Y. 2013. Comparison of the operating performance of automated and traditional container terminals. *International Journal of Logistics* 16(2). April 2013

Yano.C. a. & Newman.A.M.. 2001. Scheduling Trains and Containers with Due Dates and Dynamic Arrivals. *Transportation Science*. 35 (2).pp.181–191.



## **CAPÍTULO 9. ANEXOS**







C14	0,1595	0,0097	0,0874	0,548	0,333	0,0291
C15	0,0516	0,0031	0,0283	0,548	0,333	0,0094
C21	0,0454	0,0009	0,0078	0,171	0,333	0,0026
C22	0,0746	0,0014	0,0128	0,171	0,333	0,0042
C23	0,1354	0,0026	0,0232	0,171	0,333	0,0077
C24	0,6703	0,0127	0,1147	0,171	0,333	0,0382
C25	0,0745	0,0014	0,0127	0,171	0,333	0,0042
C31	0,0871	0,0004	0,0039	0,0446	0,333	0,0013
C32	0,1997	0,0010	0,0089	0,0446	0,333	0,0030
C33	0,0783	0,0004	0,0035	0,0446	0,333	0,0012
C34	0,6349	0,0031	0,0283	0,0446	0,333	0,0094
C41	0,8182	0,0075	0,0672	0,0821	0,333	0,0224
C42	0,0909	0,0008	0,0075	0,0821	0,333	0,0025
C43	0,0909	0,0008	0,0075	0,0821	0,333	0,0025
C51	0,1428	0,0024	0,0220	0,1542	0,333	0,0073
C52	0,4286	0,0073	0,0661	0,1542	0,333	0,0220
C53	0,4286	0,0073	0,0661	0,1542	0,333	0,0220
C61	0,2267	0,0252	0,2268	1,0000	0,333	0,0755
C62	0,1254	0,0139	0,1255	1,0000	0,333	0,0418
C63	0,3878	0,0431	0,3878	1,0000	0,333	0,1291

C64	0,0321	0,0036	0,0321	1,0000	0,333	0,0107
C65	0,1305	0,0145	0,1305	1,0000	0,333	0,0435
C66	0,0714	0,0079	0,0714	1,0000	0,333	0,0238
C67	0,0261	0,0029	0,0261	1,0000	0,333	0,0087
C71	0,5516	0,0288	0,2588	0,4690	0,333	0,0861
C72	0,1993	0,0104	0,0935	0,4690	0,333	0,0311
C73	0,1705	0,0089	0,0800	0,4690	0,333	0,0266
C74	0,0506	0,0026	0,0238	0,4690	0,333	0,0079
C75	0,0280	0,0015	0,0131	0,4690	0,333	0,0044
C81	0,2624	0,0059	0,0527	0,2009	0,333	0,0176
C82	0,1250	0,0028	0,0251	0,2009	0,333	0,0084
C83	0,4638	0,0104	0,0932	0,2009	0,333	0,0310
C84	0,1133	0,0025	0,0228	0,2009	0,333	0,0076
C85	0,0355	0,0008	0,0071	0,2009	0,333	0,0024
C91	0,4697	0,0045	0,0405	0,0862	0,333	0,0135
C92	0,1878	0,0018	0,0162	0,0862	0,333	0,0054
C93	0,1465	0,0014	0,0126	0,0862	0,333	0,0042
C94	0,1430	0,0014	0,0123	0,0862	0,333	0,0041
C95	0,0530	0,0005	0,0046	0,0862	0,333	0,0015
C101	0,1685	0,0038	0,0339	0,2009	0,333	0,0113

C102	0,5701	0,0127	0,1146	0,2009	0,333	0,0381
C103	0,0746	0,0017	0,0150	0,2009	0,333	0,0050
C104	0,1869	0,0042	0,0376	0,2009	0,333	0,0125
C111	0,1174	0,0006	0,0050	0,0426	0,333	0,0017
C112	0,2623	0,0012	0,0112	0,0426	0,333	0,0037
C113	0,5650	0,0027	0,0241	0,0426	0,333	0,0080
C114	0,0552	0,0003	0,0024	0,0426	0,333	0,0008



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA E  
INFRAESTRUCTURA DE LOS TRANSPORTES

---