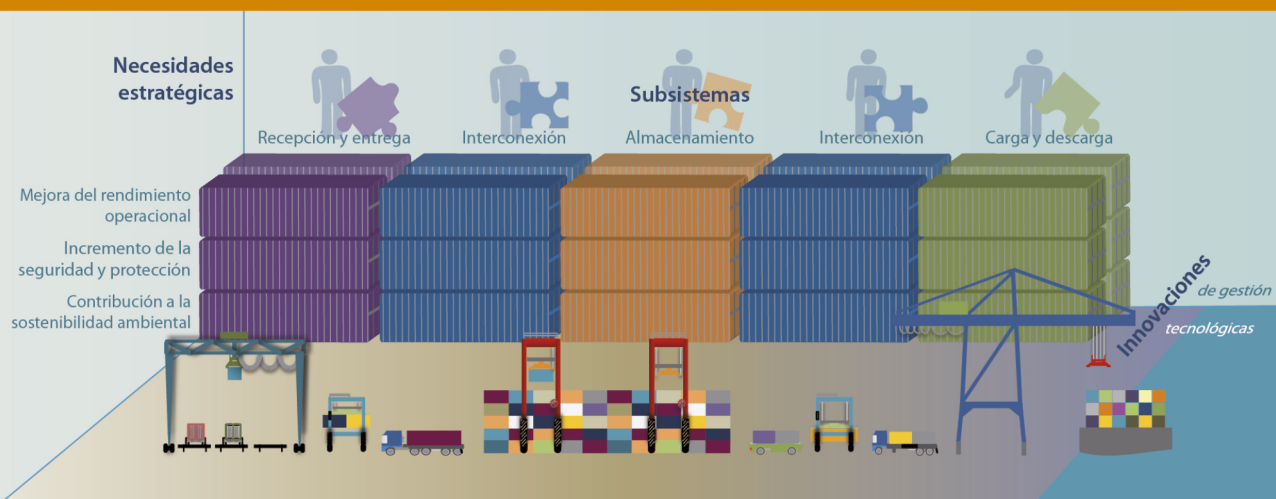
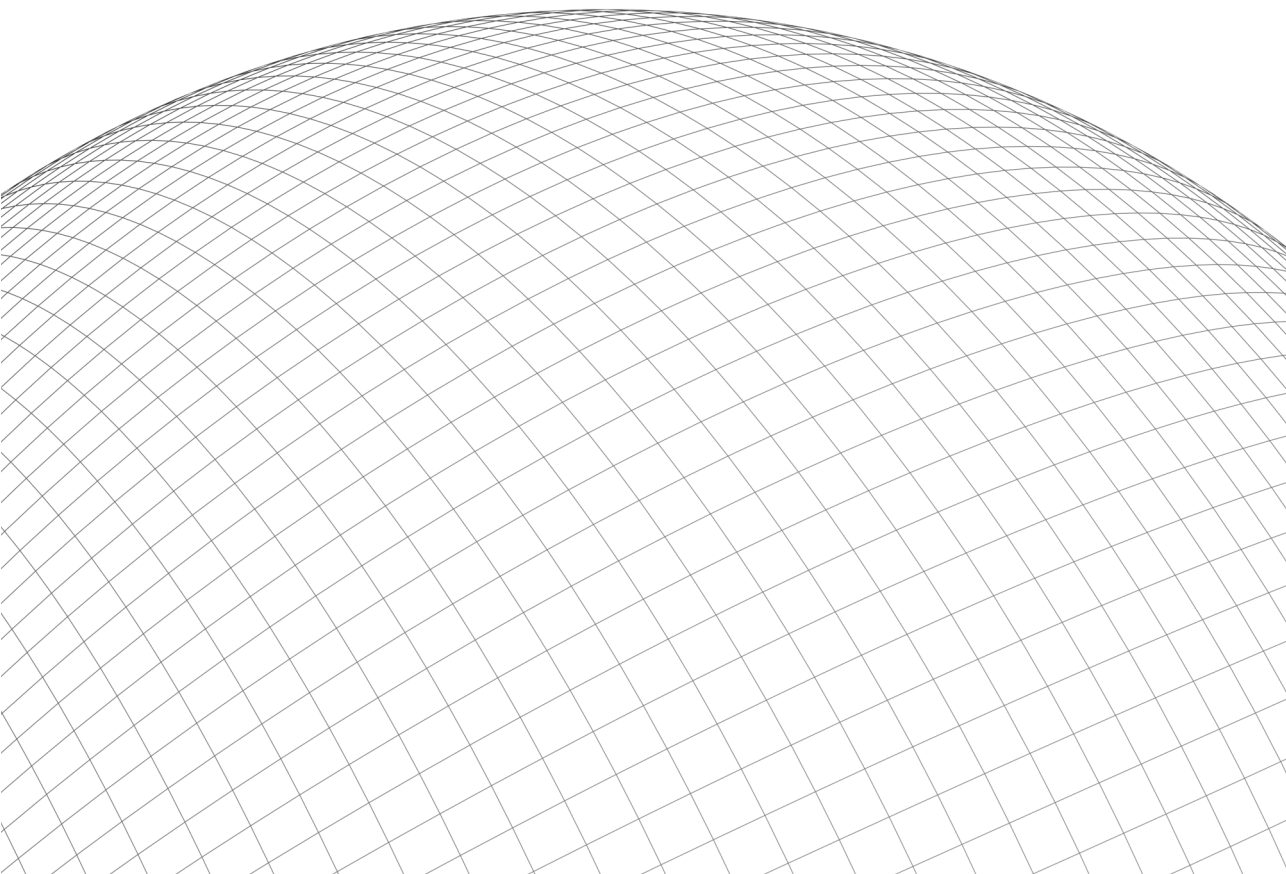


# *Innovaciones tecnológicas y de gestión en Terminales Portuarias de Contenedores*




Arturo Monfort  
Noemí Monterde  
Rafael Sapiña  
Ana María Martín  
David Caldúch  
Paula Vieira

*Innovaciones tecnológicas y de gestión en Terminales  
Portuarias de Contenedores*





Autores:	Arturo Monfort Mulinas Noemí Monterde Higuero Rafael Sapiña García Ana María Martín Soberón David Calduch Verduch Paula Vieira Gonçalves de Souza
Colección:	Biblioteca Técnica de la Fundación VALENCIAPORT
Serie:	Planificación y Gestión Portuaria
Edita:	© Fundación VALENCIAPORT Nuevo Edificio Autoridad Portuaria de Valencia Avda. del Muelle del Turia, s/n – 46024 Valencia <a href="http://www.fundacion.valenciaport.com">www.fundacion.valenciaport.com</a> ISBN: 978-84-940351-2-8 Depósito Legal: V 3518-2012
Imprime:	La Imprenta Comunicación Gráfica
Maquetación:	 Caligrama
Colabora:	Cátedra Puerto de Valencia (Convenio Universitat Politècnica de València – Autoridad Portuaria de Valencia)
Fotografías y figuras FV:	Rafael Sapiña García Ana María Martín Soberón David Calduch Verduch Noemí Monterde Higuero Paula Vieira Gonçalves de Souza

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.



# Índice

<b>Índice de tablas</b>	<b>14</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>15</b>
<b>Índice de gráficos</b>	<b>21</b>
<b>Lista de siglas y abreviaturas</b>	<b>22</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>31</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>35</b>
<b>2. Planificación y gestión estratégica de una TPC</b>	<b>41</b>
2.1. Estrategia de la TPC	46
2.2. Necesidades estratégicas de una TPC	52
2.2.1. Mejorar el rendimiento operacional	53
2.2.2. Incrementar la seguridad y la protección	56
2.2.3. Contribuir a la sostenibilidad ambiental	58
<b>3. La terminal portuaria de contenedores</b>	<b>63</b>
3.1. La Terminal como Sistema. Subsistemas	63
3.2. Integración de los subsistemas	66
3.3. Tipología de TPCs	69
3.3.1. Terminales de chasis o plataformas	70
3.3.2. Terminales de carretillas	73
3.3.3. Terminales de <i>reachstackers</i>	76
3.3.4. Terminales de <i>straddle carriers</i>	78
3.3.5. Terminales de RTGs	80
3.3.6. Terminales de RMGs	84
3.3.7. Terminales de pórticos automáticos	86
3.4. Comparación de tipologías	89

<b>4. Decisiones operacionales en TPCs</b>	<b>93</b>
4.1. Introducción	93
4.2. Clasificación de decisiones operacionales en TPCs	95
4.2.1. Clasificación según el horizonte de planificación y gestión	95
4.2.2. Clasificación por subsistemas	97
4.2.3. Clasificación de decisiones operacionales en TPCs según subsistemas y horizontes de planificación y gestión	98
<b>5. Concepto y tipología de innovación en las TPCs</b>	<b>101</b>
5.1. Introducción	101
5.2. Definiciones y clasificaciones	101
5.3. Tipologías de innovación en TPCs	106
<b>6. Innovaciones en la TPCs como sistema</b>	<b>111</b>
6.1. Innovación y automatización	111
6.1.1. Introducción: definición y consideraciones generales	111
6.1.2. Terminal de nuevo desarrollo vs. terminal en servicio	114
6.1.3. Grados de automatización	115
6.1.3.1. Terminales automatizadas y terminales semi-automatizadas	115
6.1.3.2. Automatizaciones mayores y menores	116
6.1.3.3. <i>Retrofitting</i>	117
6.1.4. Tendencias en automatización de TPCs	118
6.1.4.1. Automatización de puertas	121
6.1.4.2. Automatización del patio	122
6.1.4.3. Automatizaciones menores en grúas de muelle	126
6.2. Innovaciones de gestión	127
6.2.1. Cuadro de Mando Integral (CMI)	129
6.2.1.1. Implementación del CMI en TPCs	136
6.2.2. <i>Container Terminal Quality Indicator</i> (CTQI)	145
6.3. Innovaciones tecnológicas	151
6.3.1. <i>Terminal Operating System</i> (TOS)	151
6.3.2. Simuladores y emuladores	156
6.3.2.1. Simulación: definición y clasificación	156

6.3.2.2. Requerimientos genéricos de una herramienta de simulación para TPCs	159
6.3.2.3. Niveles de abstracción para la simulación de TPCs	166
6.3.2.4. Innovaciones en simulación	172
6.3.2.5. Simuladores de equipos de manipulación portuaria	173
6.3.3. Sistemas de información en tiempo real	174
6.3.4. Herramientas de optimización	177
<b>7. Innovaciones en el subsistema de carga y descarga</b>	<b>181</b>
7.1. Innovaciones tecnológicas	182
7.1.1. Mejora del rendimiento operacional	182
7.1.1.1. Reducción de la duración del ciclo	184
7.1.1.1.1. Incremento de las velocidades de las grúas	184
7.1.1.1.2. Grúa de muelle con doble <i>trolley</i> (con plataforma intermedia)	186
7.1.1.1.3. Posicionamiento del <i>spreader</i>	188
7.1.1.1.3.1. Sistemas <i>anti-sway</i>	189
7.1.1.1.3.2. Sistemas <i>anti-skew</i>	190
7.1.1.1.4. Relación de las grúas de muelle con los equipos de interconexión	192
7.1.1.1.5. Automatización de <i>twistlocks</i>	194
7.1.1.1.5.1. Sistemas automáticos de colocación y retirada de <i>twistlocks</i>	194
7.1.1.1.5.2. Sistemas de apertura y cierre automático de <i>twistlocks</i>	198
7.1.1.1.6. Reducción de la distancia recorrida	203
7.1.1.1.6.1. Grúa con pluma ajustable en altura	203
7.1.1.1.6.2. Optimización de la trayectoria	204
7.1.1.1.7. Automatización de la carga y descarga de buques	207
7.1.1.1.7.1. Control remoto	209
7.1.1.2. Incremento del número de contenedores movidos por ciclo o por metro lineal de atraque	211
7.1.1.2.1. Tipologías de carros y <i>spreaders</i>	212



7.1.1.2.1.1.	<i>Spreader twin-lift</i>	212
7.1.1.2.1.2.	<i>Spreader tandem</i>	213
7.1.1.2.1.3.	Triple <i>spreader</i> con <i>twin-lift</i>	216
7.1.1.2.2.	Tipología de grúa	219
7.1.1.2.2.1.	Grúas con dos <i>trolleys</i> sobre la pluma	219
7.1.1.2.2.2.	Grúas <i>dual hoist</i>	220
7.1.1.2.2.3.	Grúas de doble pluma ( <i>double boom</i> )	222
7.1.1.2.2.4.	“Estructura continua” - <i>FastNet crane</i>	224
7.1.2.	Incremento de la seguridad y la protección	225
7.1.2.1.	Sistemas de prevención de accidentes	225
7.1.2.1.1.	Sistema anti-enganche o anti- <i>snag</i>	225
7.1.2.1.2.	Sensores láser de medida	226
7.1.2.1.3.	Sistema de detección de carga en el <i>spreader</i>	228
7.1.2.1.4.	Otro tipo de sensores	230
7.1.2.2.	Sistemas de escaneado de contenedores	231
7.1.2.3.	<i>Auto-mooring</i>	235
7.1.3.	Contribución a la sostenibilidad ambiental	239
7.1.3.1.	<i>Spreader</i> eléctrico	239
7.1.3.2.	<i>Spreader</i> ligero	241
7.1.3.3.	Sistemas de recuperación y almacenamiento de energía en grúas de muelle	242
7.1.3.4.	Corrección de la energía reactiva	243
7.1.3.5.	Diseño de la instalación eléctrica	244
7.1.3.6.	<i>Cold Ironing</i>	248
7.2.	Innovaciones de gestión	253
7.2.1.	Mejora del rendimiento operacional	253
7.2.1.1.	Doble ciclo	253
7.2.1.2.	Atraque indentado	254
7.2.1.3.	Grúas de contenedores flotantes	256
7.2.1.4.	Asignación de atraque	258
7.2.1.5.	Optimización de la asignación de grúas de muelle	259

<b>8. Subsistema de almacenamiento</b>	<b>263</b>
8.1. Innovaciones tecnológicas	264
8.1.1. <i>Reachstackers</i>	265
8.1.1.1. Mejora del rendimiento operacional	266
8.1.1.1.1. Incremento de la capacidad de carga y mejora de la accesibilidad en pila	266
8.1.1.1.2. Tracción independiente de las ruedas	270
8.1.1.2. Incremento de la seguridad y la protección	271
8.1.1.2.1. Mejora de la visibilidad, comodidad y ergonomía del conductor	271
8.1.1.2.2. Escáner de radiación	276
8.1.1.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental	277
8.1.2. <i>Straddle Carrier</i>	277
8.1.2.1. Mejora del rendimiento operacional	279
8.1.2.1.1. Incremento de la capacidad de carga ( <i>spreader twin-lift</i> )	279
8.1.2.1.2. Aumento de la estabilidad y velocidad de operación	280
8.1.2.1.3. Sistemas de control	283
8.1.2.1.4. Sistema automático de posicionamiento de contenedores	284
8.1.2.1.5. Automatización completa de la terminal	285
8.1.2.2. Incremento de la seguridad y la protección	286
8.1.2.2.1. Mejora de la visibilidad, comodidad y ergonomía del conductor	286
8.1.2.2.2. Escáner de radiación	287
8.1.2.2.3. Mejoras en la estructura	287
8.1.2.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental	287
8.1.2.3.1. Sistemas de reducción de revoluciones	287
8.1.2.3.2. Tecnología híbrida: motores diésel-eléctricos	288
8.1.3. <i>Rubber Tyred Gantry crane (RTG)</i>	290
8.1.3.1. Mejora del rendimiento operacional	290

8.1.3.1.1. Sistema de posicionamiento	291
8.1.3.2. Incremento de la seguridad y la protección	293
8.1.3.2.1. Sistema de reconocimiento de contenedores	293
8.1.3.2.2. Sistemas de monitorización anticolidión	295
8.1.3.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental	296
8.1.3.3.1. Sistemas de ahorro de combustible	296
8.1.3.3.2. Súper condensadores o súper capacitores	298
8.1.3.3.3. Tecnología híbrida	299
8.1.3.3.4. RTGs Eléctricos	300
8.1.4. <i>Rail Mounted Gantry crane</i> (RMG)	307
8.1.4.1. Mejora del rendimiento operacional	309
8.1.4.1.1. Controlador centralizado de movimientos	309
8.1.5. <i>Automatic Stacking Crane</i> (ASC)	310
8.1.5.1. Sistema ASC para contenedores vacíos	316
8.1.6. Hangar de contenedores	318
8.2. Innovaciones de gestión	319
8.2.1. Mejora del rendimiento operacional	319
8.2.1.1. Optimización de la configuración de patio	319
8.2.1.1.1. Disposición de las pilas en planta – Agrupación de los tráficos	321
8.2.1.1.2. Sistemas de gestión de apilado	323
8.2.1.2. <i>Pooling</i> de equipos	324
8.2.1.3. Trazabilidad de contenedores y equipos en tiempo real	324
<b>9. Subsistema de recepción y entrega</b>	<b>327</b>
9.1. Innovaciones tecnológicas	328
9.1.1. Mejora del rendimiento operacional	329
9.1.1.1. Sistemas de identificación del contenedor, vehículo y conductor	330
9.1.1.1.1. Sistema OCR	330
9.1.1.1.2. Sistema RFID	334
9.1.1.1.3. Sistemas de tarjetas inteligentes y biometría	337
9.1.2. Incremento de la seguridad y la protección	339
9.1.2.1. Sistemas de escaneado	339

9.2. Innovaciones de gestión	343
9.2.1. Mejora del rendimiento operacional	343
9.2.1.1. Sistemas de automatización de puertas terrestres	343
9.2.1.2. Sistema de gestión de citas en las puertas	345
9.2.1.2.1. <i>Closing Time</i>	345
9.2.1.2.2. Cita Previa	349
9.2.1.3. <i>Global Position System</i> (GPS)	350
<b>10. Subsistema de interconexión</b>	<b>353</b>
10.1. Innovaciones tecnológicas	355
10.1.1. <i>Reachstackers</i>	355
10.1.1.1. Mejora del rendimiento operacional	356
10.1.1.1.1. Aumento de la velocidad y flexibilidad de operación	356
10.1.1.2. Monotorización a bordo	357
10.1.2. Sistema de tractor y plataforma (T+P)	357
10.1.2.1. Mejora del rendimiento operacional	359
10.1.2.1.1. Plataforma multicarga	359
10.1.2.1.2. Plataformas autocargantes	363
10.1.2.2. Contribución a la sostenibilidad ambiental	366
10.1.2.2.1. Cabezas tractoras diésel	366
10.1.2.2.2. Cabezas tractoras de gas natural	368
10.1.2.2.3. Cabezas tractoras híbridas	370
10.1.2.2.4. Cabezas tractoras eléctricas	375
10.1.3. <i>Automated Guided Vehicle</i> (AGV)	379
10.1.3.1. Mejora del rendimiento operacional	381
10.1.3.1.1. <i>Lift AGV</i>	382
10.1.3.1.2. <i>Cassette AGV</i>	383
10.1.3.2. Contribución a la sostenibilidad ambiental	385
10.1.3.2.1. AGVs con motor híbrido	385
10.1.3.2.2. AGVs eléctricos	386
10.1.4. <i>Mini straddle carriers</i>	390
10.2. Innovaciones de gestión	397
10.2.1. Mejora del rendimiento y capacidad	397

10.2.1.1. <i>Pooling</i> de equipos	397
10.2.1.2. <i>Decoupling</i>	400
10.2.1.3. Secuencia de órdenes y elección de rutas	402
<b>Anexo. Decisiones operacionales en TPCs</b>	<b>405</b>
1. Introducción	405
2. Nivel estratégico	406
2.1. La terminal como sistema	406
2.1.1. Configuración de la terminal	406
2.1.2. Selección del TOS e integración con las TICs	411
2.1.3. Definición de herramientas de planificación y gestión: CMI, indicadores, simulación, emulación	412
2.1.4. Grado de automatización	414
2.2. Subsistema de carga y descarga de buques	414
2.2.1. Elección de grúas de muelle	414
2.2.2. Definición de la capacidad y el nivel de servicio de la línea de atraque	417
2.3. Subsistema de almacenamiento	419
2.3.1. Elección de equipo de patio	419
2.3.2. Definición de la capacidad de almacenamiento	420
2.4. Subsistema de recepción y entrega	421
2.4.1. Ubicación y diseño de puertas terrestres (camiones y ff.cc.)	421
2.4.2. Definición del procedimiento documental de recepción y entrega	425
2.4.3. Implantación del <i>closing time</i> y de sistemas de cita previa	429
2.5. Subsistema de interconexión	430
2.5.1. Elección de equipos de interconexión	430
2.5.2. Definición de los viales de circulación	432
3. Nivel Táctico	434
3.1. La terminal como sistema	
3.1.1. Criterios generales de asignación de tipo y número de equipos y mano de obra a cada operativa	434
3.2. Subsistema de carga y descarga de buques	436
3.2.1. Asignación de atraque	436



3.2.2. Asignación de grúas de muelle	438
3.2.3. Plan de estiba y planificación de la carga y descarga de buques	440
3.3. Subsistema de almacenamiento	442
3.3.1. Asignación de grúas de patio	442
3.3.2. Zonificación del patio	445
3.3.3. Altura de apilado	446
3.3.4. Tiempo de estancia de los contenedores	447
3.4. Subsistema de recepción y entrega	448
3.4.1. Diseño de la recepción y entrega de camiones	448
3.4.2. Diseño de servicio al ferrocarril	452
3.5. Subsistema de interconexión	454
3.5.1. Asignación de equipos de interconexión	454
3.5.2. Definición de sentidos de circulación y segregación de tráfico	456
4. Nivel operativo	457
4.1. La terminal como sistema	457
4.1.1. Control de equipos automáticos en tiempo real	457
4.1.2. Asignación de órdenes de trabajo a cada recurso concreto: optimización	458
4.2. Subsistema de carga y descarga de buques	459
4.2.1. Asignación dinámica de atraques	459
4.3. Subsistema de almacenamiento	460
4.3.1. Asignación de <i>slots</i> en patio	460
4.3.2. Asignación de orden de retirada de los contenedores de carga y los de entrega terrestre	461
4.3.3. Realización de <i>housekeeping</i>	462
4.4. Subsistema de recepción y entrega	463
4.4.1. <i>Buffering</i>	463
4.5. Subsistema de interconexión	463
4.5.1. Secuencia de órdenes de trabajo y elección de rutas	463
<b>Bibliografía</b>	<b>465</b>

## Índice de tablas

Tabla 1.	Categorías de medición de rendimiento en puertos	54
Tabla 2.	Propuesta de niveles de servicio para las navieras	55
Tabla 3.	Tipologías de carretillas	74
Tabla 4.	Caracterización cualitativa de la terminal según tipología de equipamiento de patio empleada	90
Tabla 5.	Densidad superficial, altura operativa media de apilado y capacidad estática de las terminales de contenedores según el tipo de equipo de almacenamiento	91
Tabla 6.	Revisión bibliográfica del criterio de clasificación de decisiones operacionales en función del horizonte de planificación	95
Tabla 7.	Propuesta de indicadores para cada objetivo estratégico	139
Tabla 8.	Propuesta de iniciativas estratégicas	142
Tabla 9.	Clasificación de las innovaciones que contribuyen a la mejora del rendimiento operacional	183
Tabla 10.	Comparación entre emisiones de motores diésel auxiliares y sistema móvil de LNG para una estancia de 2 días en puerto	252
Tabla 11.	Características del sistema de electrificación mediante carrete en la máquina	304
Tabla 12.	Características del sistema de electrificación mediante líneas sobre carril elevado	306
Tabla 13.	Comparación de los tres sistemas de electrificación de RTGs	307
Tabla 14.	Especificaciones técnicas de ASCs	314
Tabla 15.	Equipo de interconexión para cada movimiento de interconexión según el tipo de equipamiento de patio	354
Tabla 16.	Límites de emisiones para motores de combustión interna en la Fase IIIB de Euromot	367
Tabla 17.	Características de las cabezas tractoras eléctricas de Balqon	377
Tabla 18.	Características de los AGV híbridos de Gottwald y VDL	385
Tabla 19.	Características técnicas de los mini SCs	393
Tabla 20.	Comparación de sistemas de interconexión	396
Tabla 21.	Fortalezas y debilidades del <i>pooling</i> en el subsistema de interconexión	400
Tabla 22.	<i>Decoupling</i> en el subsistema de equipo de interconexión	401
Tabla 23.	Criterios de selección de equipo de patio	419

## Índice de figuras

Figura 1.	De la Comunidad Portuaria al Clúster	36
Figura 2.	Esquema del conflicto de intereses en la terminal portuaria	37
Figura 3.	Concepto de negocio	42
Figura 4.	Integración de la Planificación Estratégica y la Gestión Estratégica	43
Figura 5.	Líneas estratégicas de una terminal portuaria de contenedores	48
Figura 6.	Creación de valor para los accionistas de una empresa en diferentes horizontes temporales	51
Figura 7.	Desarrollo Sostenible en una Terminal Portuaria de Contenedores	53
Figura 8.	Esquema de los subsistemas de una terminal de contenedores	65
Figura 9.	Integración de los ciclos de los equipos de una TPC	67
Figura 10.	California United Terminal (Port of Long Beach – EE.UU.)	71
Figura 11.	Virginia International Terminals – VIT (Port of Virginia – EE.UU.)	72
Figura 12.	<i>Rechstacker</i> en TCV Stevedoring Company (Puerto de Valencia – España)	76
Figura 13.	Terminal P. Castellón (Puerto de Castellón – España)	77
Figura 14.	SC en Norfolk International Terminals (Port of Virginia – EE.UU.)	78
Figura 15.	Medcenter Container Terminal (Gioia Tauro – Italia)	79
Figura 16.	RTG en MSC Terminal Valencia (Puerto de Valencia – España)	81
Figura 17.	Ejemplo de <i>layout</i> de una terminal de contenedores	82
Figura 18.	Terminal de RTGs (Puerto de Santos – Brasil)	83
Figura 19.	RMGs en Hanjin Terminal (Puerto de Busan – Corea del Sur)	85
Figura 20.	RMGs automáticos (ASCs). APM Terminals Virginia (Port of Virginia – EE.UU.)	87
Figura 21.	APM Terminals Virginia (Port of Virginia – EE.UU.)	88
Figura 22.	Planificación y gestión en TPCs	94
Figura 23.	Clasificación de decisiones operacionales en TPCs en función del subsistema y del horizonte de planificación y gestión	99
Figura 24.	Proceso ideal de I+D+i	104
Figura 25.	Triple dimensión de las innovaciones en la TPC	106
Figura 26.	<i>Retrofitting</i> para la automatización de RTGs	118
Figura 27.	Estructura del CMI: árbol de Objetivos Estratégicos, indicadores, metas e iniciativas	130
Figura 28.	El Cuadro de Mando	132
Figura 29.	Mapa Estratégico genérico	133
Figura 30.	Integración de la Planificación Estratégica y el Cuadro de Mando Integral	134
Figura 31.	Propuesta de Mapa Estratégico para una TPC	137

Figura 32.	Ejemplo de Ficha de Indicador	141
Figura 33.	Ejemplo de Ficha de Iniciativa	143
Figura 34.	Conexiones del CMI Real vs. conexiones del CMI Simulado	144
Figura 35.	Funcionamiento del CTQI <i>Standard</i>	147
Figura 36.	Proceso de Certificación en el CTQI de una TPC	150
Figura 37.	Funciones de un TOS	152
Figura 38.	Proceso de simulación y el simulador	161
Figura 39.	Arquitectura simplificada de un simulador para TPCs	162
Figura 40.	Ejemplo de editor de un simulador de una TPC	163
Figura 41.	Ejemplo de editor morfológico de un simulador de una TPC	164
Figura 42.	Ejemplo de visualización de una simulación de una TPC	166
Figura 43.	Nivel 1 de abstracción de simulación de una TPC	168
Figura 44.	Nivel 2 de abstracción de simulación de una TPC	169
Figura 45.	Nivel 3 de abstracción de simulación de una TPC	170
Figura 46.	Nivel 4 de abstracción de simulación de una TPC	171
Figura 47.	Simulador de grúas pórtico para el entrenamiento de manipuladores portuarios de la Sociedad de Estiba y Desestiba del Puerto de Valencia	174
Figura 48.	<i>Remote Machine Interface</i>	175
Figura 49.	Operación de una grúa de doble <i>trolley</i> . Terminal Altenwerder (HHLA–CTA) (Puerto de Hamburgo – Alemania)	187
Figura 50.	Grúas de doble <i>trolley</i> de ZPMC en la terminal Altenwerder (HHLA–CTA) (Puerto de Hamburgo – Alemania)	188
Figura 51.	Movimientos del <i>spreader</i>	189
Figura 52.	Sistema de corrección de <i>trim</i> , <i>list</i> y <i>skew</i> de Konecranes	191
Figura 53.	Componentes del sistema VAS de ABB	193
Figura 54.	Sistema automático <i>PinSmart</i> de manipulación de <i>twistlocks</i>	195
Figura 55.	Sistema ALP de KALP en operativa de descarga	197
Figura 56.	RAT ( <i>Remote controlled Automatic Twistlock</i> ) de Loxsystem	199
Figura 57.	Control Remoto (PCU) de los <i>twistlock</i> tipo RAT	200
Figura 58.	Operación <i>Vertical Tandem Lift</i> con <i>twistlocks</i> RAT	201
Figura 59.	Funcionamiento del <i>twistlock</i> totalmente automático FA-8	202
Figura 60.	Grúa con pluma ajustable en altura de ZPMC en APM Terminals Virginia (Port of Virginia – EE.UU.)	204
Figura 61.	Sistema SPS de ABB	205
Figura 62.	Pantallas del <i>Cabin View Operation</i> del SPS de ABB	206
Figura 63.	Operador experimentado vs. sistema automatizado ACLAS en TSI Deltaport (Puerto de Vancouver – Canadá)	208

Figura 64.	Cabina ubicada en la pata de la grúa en Manzanillo International Terminal (Puerto Manzanillo – Panamá)	210
Figura 65.	Dos contenedores de 20 pies izados mediante <i>spreader twin-lift</i> de Bromma	213
Figura 66.	<i>Spreader tandem</i> de 40 pies	214
Figura 67.	Combinaciones de cargas con <i>spreader tandem</i> T45 de Bromma	215
Figura 68.	<i>Spreader tandem</i> con <i>twin-lift</i>	216
Figura 69.	Grúa de ZPMC moviendo tres contenedores de 40 pies	217
Figura 70.	Grúa con doble <i>trolley</i> en la misma pluma	220
Figura 71.	Grúas <i>Dual Hoist Tandem</i> (DHT40) de ZPMC	221
Figura 72.	Grúa de doble pluma	223
Figura 73.	Estructura <i>FastNet</i> . Diseño de APM Terminals	224
Figura 74.	<i>FastNet</i> . APM Terminals	225
Figura 75.	Funcionamiento del sistema <i>anti-snag</i> de Konecranes	226
Figura 76.	Sensor anti-colisión entre grúas de Sick	228
Figura 77.	Sensor de carga Lasstec en el <i>spreader</i>	229
Figura 78.	Sistema <i>Interceptor</i> de PACECO	232
Figura 79.	<i>Spreader</i> con escáner de radiación de Bromma	233
Figura 80.	Esquema de funcionamiento del escáner de Veritainer	234
Figura 81.	Amarre tipo <i>grip-based auto-mooring</i> de TTS	236
Figura 82.	Amarre tipo <i>vacuum based auto-mooring</i> de TTS	237
Figura 83.	Sistema de autoamarre por vacío de Cavotec	238
Figura 84.	Detalle de <i>spreaders</i> eléctricos de Bromma	240
Figura 85.	Comparación entre sensores de <i>trolley</i> tradicional vs. uso de multisensores	245
Figura 86.	Rango de energía recuperada en función de las grúas interconectadas	246
Figura 87.	Esquemas de red de anillo y de estructura radial	247
Figura 88.	Suministro de energía eléctrica a buques atracados: Sistema <i>Cold Ironing</i>	249
Figura 89.	Esquema de suministro de energía eléctrica a buques desde tierra	250
Figura 90.	Atraque indentado de Ceres Paragon Terminal (Puerto de Ámsterdam – Países Bajos)	254
Figura 91.	Diseño del concepto de grúa de contenedores flotante	256
Figura 92.	Esquema de asignación de atraque	258
Figura 93.	Esquema de asignación de grúa	260
Figura 94.	Adecuación del tamaño de la grúa al buque	261
Figura 95.	<i>Reachstackers</i> del fabricante Hyster	265
Figura 96.	Cargas máximas admisibles en función de la posición en pila del contenedor para diferentes modelos de RSs de Hyster	267
Figura 97.	<i>Reachstacker</i> Liebherr de pluma telescópica curva	268



Figura 98.	Alcance a tercera fila del <i>reachstacker</i> LRS de Liebherr	269
Figura 99.	Sistema de tracción independiente de las ruedas	271
Figura 100.	Cabina “Vista” del <i>reachstacker</i> de Hyster	273
Figura 101.	Posiciones de la cabina deslizante para RS de Hyster	274
Figura 102.	<i>Reachstacker</i> CVS Ferrari 48I	275
Figura 103.	Sistema de cámaras para <i>reachstackers</i>	276
Figura 104.	<i>Straddle Carrier</i> de la empresa Kalmar	278
Figura 105.	<i>Straddle carrier</i> con <i>spreader twin-lift</i> extensible	280
Figura 106.	Sistema <i>Powertrain</i> de Kalmar	281
Figura 107.	Sistema de izado <i>Smoothlift™</i>	283
Figura 108.	Cabina de <i>straddle carrier</i> de Kalmar	286
Figura 109.	Componentes del sistema híbrido del SC de Kalmar: condensador, sistema de ventilación y generador diésel de velocidad variable	288
Figura 110.	Grúa tipo RTG	290
Figura 111.	Sistema <i>Smartrail</i> de Kalmar	291
Figura 112.	Sistema de reconocimiento del contenedor en RTGs	294
Figura 113.	Sistema anticollisión ojo de halcón	295
Figura 114.	Sistema de ahorro de combustible F\$2 de Konecranes para RTGs	297
Figura 115.	Diagrama de conexión del VSG de Kalmar	298
Figura 116.	Sistema Híbrido ECO-RTG de Siemens	299
Figura 117.	RTGs eléctricos en el Puerto de Sharjah – E.A.U.	301
Figura 118.	Sistema de alimentación eléctrica mediante carrete motorizado	303
Figura 119.	Sistema de electrificación de RTG con <i>cable reel on carrier</i>	304
Figura 120.	Sistema de electrificación mediante líneas conductoras	306
Figura 121.	RMGs en el Puerto de Vladivostok – Rusia	308
Figura 122.	<i>Simocrane Technology</i>	309
Figura 123.	Grúa tipo ASC	311
Figura 124.	ASCs con guía rígida	312
Figura 125.	ASCs pasantes	313
Figura 126.	ASC + <i>straddle carriers</i> vs. ASC + AGVs	313
Figura 127.	Red de trabajo de ASCs	314
Figura 128.	Sistema ASC para contenedores vacíos de la Terminal 5 Wai Quiaxiao (Puerto de Shanghai – China)	316
Figura 129.	Diseño de sistema ASC para <i>depot</i> de contenedores vacíos en Valencia	317
Figura 130.	Diseño de hangar de contenedores de NKY	318
Figura 131.	Configuración y capacidad estática del patio en función del equipo empleado	320
Figura 132.	Tipos de zonificación del patio de almacenamiento	322

Figura 133. Sistema de puertas automatizadas del Puerto de Valencia – España	329
Figura 134. Instalación de sistemas OCR en las puertas del Puerto de Valencia	332
Figura 135. <i>Software</i> OCR con el reconocimiento de matrículas de camiones y de contenedores	332
Figura 136. Sistemas de iluminación de apoyo a los sistemas OCR	333
Figura 137. Pórticos para sistemas OCR en los accesos ferroviarios	334
Figura 138. <i>Tags</i> RFID pasivas para parabrisas y espejos retrovisores de vehículos	335
Figura 139. Ejemplos de <i>tags</i> RFID activas para vehículos y contenedores	335
Figura 140. Lectores de <i>tags</i> RFID pasivas y activas de largo alcance	336
Figura 141. Sistema de autoservicio en el acceso de la terminal portuaria	338
Figura 142. Escáner biométrico de la palma de la mano	339
Figura 143. Portal con escáner de rayos X en Southampton Container Terminal (Port of Southampton – Reino Unido)	340
Figura 144. Portal de monitorización de radiación instalado en el Puerto de Felixstowe – Reino Unido	341
Figura 145. Esquema del sistema VACIS de escaneado para ferrocarril	341
Figura 146. Sistema VACIS de escaneo reubicable	342
Figura 147. Sistema móvil de inspección de radiación	342
Figura 148. Sistema de puertas automatizadas del Puerto de Valencia – España	344
Figura 149. <i>Software</i> para la gestión de los carriles de salida del puerto	344
Figura 150. Conexión de video y voz de la Aduana con los conductores en la salida del puerto	345
Figura 151. Ejemplo de funcionamiento del <i>Closing Time</i> Terrestre en el Puerto de Valencia	347
Figura 152. Ejemplo de funcionamiento del <i>Closing Time</i> Marítimo en el Puerto de Valencia	348
Figura 153. <i>Reachstacker</i> del fabricante Hyster	353
Figura 154. <i>Reachstacker</i> Kalmar con sistema de giro del <i>spreader</i>	357
Figura 155. Cabeza tractora y plataforma	358
Figura 156. Plataformas de apilado a doble altura	359
Figura 157. Sistema Multi-Tráiler de Buisar con cabeza tractora Terberg	360
Figura 158. Plataforma de dos alturas en Tanjong Pagar Container Terminal. Puerto de Singapur	362
Figura 159. Sistema de plataforma autocargante de TTS	364
Figura 160. Proyecto de APMT Vado Ligure (Puerto de Savona – Italia)	365
Figura 161. Cabeza tractora híbrida con sistema PHETT	371
Figura 162. Cabeza tractora híbrida hidráulica Kalmar del grupo Cargotec	372

Figura 163. Cabeza tractora eléctrica de Balqon	376
Figura 164. Versión europea de cabeza tractora eléctrica de Balqon-MOL	378
Figura 165. AGVs en HHLA CTA (Puerto de Hamburgo – Alemania)	381
Figura 166. Esquema de la operación del <i>Lift</i> AGV en el patio de almacenamiento	382
Figura 167. <i>Cassete</i> -AGV de TTS Port Equipment	384
Figura 168. <i>Battery</i> AGV de Gottwald en HHLA CTA (Puerto de Hamburgo – Alemania)	387
Figura 169. Detalle de componentes y baterías de plomo del <i>Battery</i> AGV de Gottwald	388
Figura 170. Prototipo de C-AGV propulsado por inducción eléctrica de TTS y Numexia	389
Figura 171. Sistema de transferencia inalámbrica de energía	390
Figura 172. Mini SC de Konecranes <i>Boxrunner</i>	391
Figura 173. Mini SCs de Fantuzzi. <i>Raptor senior</i> y <i>raptor junior</i>	392
Figura 174. Mini SC de Kalmar automático. <i>AutoShuttle Carrier</i>	394
Figura 175. Operativa normal vs. <i>pooling</i> de elementos de transporte horizontal	398
Figura 176. Reducción de retornos en vacío y de número de ciclos mediante <i>pooling</i>	399
Figura 177. Configuración del perfil de pila	408
Figura 178. Disposición de viales y pilas	409
Figura 179. <i>Layout</i> de MSC Terminal Valencia (Puerto de Valencia – España)	410
Figura 180. <i>Layout</i> de Container Terminal Altenwerder (Puerto de Hamburgo – Alemania)	410
Figura 181. <i>Layout</i> con puerta terrestre única	423
Figura 182. <i>Layout</i> con separación de puertas terrestres	423
Figura 183. Flujo de documentación asociado a la entrada de un contenedor por carretera	426
Figura 184. Flujo de documentación asociado a la salida de un contenedor por carretera	427
Figura 185. Flujo de documentación asociado a la recepción y entrega de un contenedor de ferrocarril	428
Figura 186. Ejemplo de solución para la interconexión en patio de RMGs	431
Figura 187. Trayectorias de circulación	433
Figura 188. <i>Bayplan</i> de descarga y de carga de un bay de un buque	441
Figura 189. <i>Pooling</i> de equipos de patio y de interconexión	444
Figura 190. Recepción y entrega de camión con <i>straddle carriers</i>	449
Figura 191. Recepción y entrega de camión con RTG	450
Figura 192. Recepción y entrega de camión con RMG	451
Figura 193. Recepción y entrega de camión con ASCs	452
Figura 194. Carretilla <i>sideloader</i>	454

## Índice de gráficos

Gráfico 1. Tendencias en la automatización de TPCs	119
Gráfico 2. Número de terminales automatizadas y semi-automatizadas según su configuración de patio	124
Gráfico 3. Comparación de la inversión y gasto anual según equipo horizontal	397

## Lista de siglas y abreviaturas

$\Delta$	Incremento
A	Amperio
AAPA	American Association of Port Authorities
AB	<i>Aktiebolag</i> (equivale a Sociedad Anónima en Suecia y Finlandia)
AC	<i>Alternating Current</i> (CC, Corriente alterna)
ACCR	<i>Automatic Container Code Recognition</i>
ACLAS	<i>Automatic Container Landing System</i>
AECOM	AECOM (Architecture, Engineering, Consulting, Operations and Maintenance) Technology Corporation
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i> (Vehículo Guiado Automáticamente)
al.	<i>Alii</i> (otros)
ALP	<i>Automatic Lashing Platform</i>
AMP	<i>Alternative maritime power</i>
AP	Autoridad Portuaria
APA	Autoridad Portuaria de Ámsterdam
APL	American President Lines Ltd.
APMT	Arnold Peter Møller-Maersk Group Terminal
aprox.	Aproximadamente
ASC	<i>Automated Stacking Crane</i>
AShC	<i>Automated Shuttle Carrier</i>
ATT	<i>Automotive Terminal Trailer</i>
BEST	Barcelona Europe South Terminal
BPM	<i>Business Process Management</i>
B.V.	<i>Besloten Vennootschap</i> (equivale a Sociedad Anónima en Alemania)
C-AGV	<i>Cassette-AGV</i>
C-RMG	<i>Cantilever Rail Mounted Gantry crane</i>
C <sub>i</sub>	Objetivo i de la perspectiva del cliente del Mapa Estratégico
CAN bus	<i>Controller Area Network</i> (Protocolo de comunicaciones)
CAS	<i>Camera Automation System</i>



CATOS	Computer Automated TOS
CBP	U.S. Customs and Borders Protection (Oficina de Aduanas y Protección de Fronteras de EE.UU.)
CBS	Container Basis System
CCD	<i>Charge Couple Device</i>
CCTV	Circuito Cerrado de Televisión
CCU	<i>Crane Control Unit</i>
CEO	<i>Chief executive officer</i>
CIMS	<i>Crane Information Management System</i>
CITOS	Computer Integrated Terminal Operations System
CMI	Cuadro de Mando Integral (BSC, <i>Balanced Scorecard</i> )
CMS	<i>Crane Maintenance Station</i>
CMS	<i>Crane Management System</i>
CMS	<i>Crane mounted solution</i>
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i>
Co.	Company
CO <sub>2e</sub>	CO <sub>2</sub> equivalente
CoCa	<i>ContainerCarrier Position Recognition</i>
COM	Comisión Europea
cont.	Contenedor
CONTROLS	CONTainer TeRminal Optimised Logistics Simulation
COSCO	China Ocean Shipping Company
CPS	Cargotec Port Security
CSC	Convenio Internacional sobre la Seguridad de los Contenedores
CSI	Container Security Initiative (Iniciativa de Seguridad de Contenedores)
CTA	Container Terminal Altenwerder
CTB	Container Terminal Burchardkai
CTM	<i>Closing Time</i> Marítimo
CTPMs	<i>Container Terminal Performance Measures</i>
CTQC	<i>Container Terminal Quality Conformance</i>
CTQI	Container Terminal Quality Indicator (marca registrada de Germanischer Lloyd)
CTT	<i>Closing Time</i> Terrestre
CV	<i>Cabin View</i>

D	Desarrollo
DAFO	Matriz de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (también llamada Ma-triz FODA)
dB	Decibelio
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial)
DHT	<i>Dual Hoist Tandem</i>
Dir.	Director
DPW	DP World
E. A. U.	Emiratos Árabes Unidos
ECT	Europe Container Terminals
EDI	<i>Electronic Data Interchange</i> (Intercambio Electrónico de Datos)
EE	Empresa Estibadora
EE. UU.	Estados Unidos
EGD	<i>EKlgreen®drive</i>
ELC	<i>Electronic Load Control</i>
EMC	Evergreen Marine Corp.
EPA	Environmental Protection Agency
ESC	European Shippers Council
ESCAP	Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
ESPO	European Sea Ports Organisation
<i>et al.</i>	Y otros
EUROMOT	The European Association of Internal Combustion Engine Manufacturers
F <sub>i</sub>	Objetivo i de la perspectiva financiera del Mapa Estratégico
ff.cc.	Ferrocarril
FIFO	<i>First in, first out</i> (primero en entrar, primero en salir)
g	Gramo
g/bhp-hr	<i>Grams per brake horsepower-hour</i> (gramos por caballo de potencia y hora)
GIGA	Grupo de Informática Gráfica Avanzada de la Universidad de Zaragoza
GIL	Global Institute of Logistics
GL	Germanischer Lloyd
GLC	Germanischer Lloyd Certification
GmbH	<i>Gesellschaft mit Beschränkter Haftung</i> (tipo de sociedad limitada en Alemania)
GNC	Gas Natural Comprimido (CNG, <i>Compressed Natural Gas</i> )

GNL	Gas Natural Licuado ( <i>LNG, Liquefied Natural Gas</i> )
GOS	<i>Gate Operating System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamiento Global)
h	Hora
ha	Hectárea
HC	Hidrocarburo
HHLA	Hamburguer Hafen und Logistik AG
HIT	Hong Kong International Terminal
HJNC	Hanjin Newport Container Terminal
HPA	Hamburg Port Authority
HPC	Hamburg Port Consulting
HPH	Hutchison Port Holdings
Hz	Hercio
i	Innovación
I	Intensidad
I+D	Investigación y Desarrollo
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
I/O	(en relés) Entrada/Salida
IAPH	The International Association of Ports and Harbors
ICTSI	International Container Terminal Service, Inc.
IMO	International Maritime Organization
IND	Indicador
INFORM	Institut für Operations Research und Management
ISL	Institute for Shipping Economics and Logistics
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)
ISPS Code	International Ship and Port Facility Security Code (Código PBIP, Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias)
ITMMA	Institute of Transport and Maritime Management Antwerp
kg	Kilogramo
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
kV	Kilovoltio
kW	Kilowatio

kWh	Kilowatio-hora
kWhr/volt	Kilowatio-hora/voltio
L.V.	<i>Low voltage</i> (baja tensión)
L-AGV	<i>Lift-AGV</i>
LCD	<i>Liquid crystal display</i> (pantalla de cristal líquido)
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
LPR	<i>License Plate Recognition</i>
LPS	<i>Load Positioning System</i>
LSS	Lean Six Sigma
Ltd.	<i>Limited</i>
m	Metro
m.o.	Mano de obra
M.V.	<i>Medium voltage</i> (media tensión)
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARine POLLution)
MASPORT	Acrónimo del proyecto "Metodologías de Automatización y Simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de Terminales PORTuarias de Contenedores"
mi	Milla
min	Minuto
MIT	Manzanillo International Terminal
ml	Metro lineal
mm	Milímetro
mov	Movimiento
MPA	Maritime and Port Authority of Singapore
MSC	Mediterranean Shipping Company
MTS	<i>Multi Trailer System</i> (Sistema Multi Plataforma)
MVA	Megavoltiamperio
N	Naviera
nº	Número
NdS	Nivel de servicio
NFTI	Nord France Terminal International
NIT	Norfolk International Terminals
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno

NTB	North Sea Terminal Bremerhaven GmbH & Co.
NV	<i>Naamloze Vennootschap</i> (equivale a Sociedad Anónima en los Países Bajos)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OCR	<i>Optical Character Recognition</i> (Reconocimiento Óptico de Caracteres)
OHBC	<i>OverHead Bridge Crane</i>
OM	Operación Marítima
OMI	Organización Marítima Internacional (IMO, International Maritime Organization)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OT	Operación Terrestre
P	Plataforma
<i>P</i>	Productividad anual media de buque atracado
p.e.	Por ejemplo
$P_i$	Objetivo i de la perspectiva de procesos del Mapa Estratégico
PACECO	PACific Coast Engineering Company
PBIP	Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias
PCT	Piraeus Container Terminal
PCU	<i>Portable Control Unit</i>
PDS	<i>Position Detection System</i>
PDS CoSe	<i>Container position measurement and protection field monitoring</i>
PHETT	Pluggable Hybrid Electric Terminal Tractor
PI	<i>Performance Indicator</i>
PITU	<i>Position Tracking Interface Unit</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador lógico programable)
PM	Partículas en suspensión
PNIT	Pusan Newport International Terminal
POLA	Port of Los Angeles
POLB	Port of Long Beach
PSA	Antiguamente Port of Singapore Authority
R/E	Recepción y entrega
$R_i$	Objetivo i de la perspectiva de recursos del Mapa Estratégico
RAAS	<i>Regional Area Augmentation System</i>
RAE	Real Academia Española
RAT	<i>Remote controlled Automatic Twistlock</i>

RCS	<i>Remote control station</i>
RFID	<i>Radio Frequency IDentification</i> (Identificación mediante Radiofrecuencia)
RHIDES	Road Haulier Identity System
RMG	<i>Rail Mounted Gantry crane</i>
RMI	<i>Remote Machine Interface</i>
RMI	<i>Remote Maintenance Interface</i>
Ro-ro	<i>Roll-on roll-off</i>
rpm	Revoluciones por minuto
RR.HH.	Recursos Humanos
RS	<i>Reachstacker</i>
RSC	Responsabilidad Social Corporativa
RTG	<i>Rubber Tyred Gantry crane</i>
RTLS	<i>Real Time Location Tracking Systems</i>
S.A.	Sociedad Anónima
S.L.U.	Sociedad Limitada Unipersonal
SC	<i>Straddle carrier</i>
SCAQMD	<i>South Coast Air Quality Management District</i>
SCS <sup>3</sup>	<i>Spreader Control System 3</i>
SGE	Sistema de gestión energética
ShC	<i>Shuttle Carrier</i>
SIC	Sistema de Información Comunitaria
SOLAS	International Convention for the Safety Of Life At Sea
SPARCS	Synchronous Planning And Real Time Control System
SPS	<i>Ship Profiling System</i>
STS	<i>Ship To Shore Gantry Crane</i> (Grúa de muelle)
t	Tonelada
T+P	Cabeza Tractora + Plataforma
T <sub>e</sub>	Tiempo de espera
T <sub>e</sub> /T <sub>s</sub>	Espera relativa
T <sub>s</sub>	Tiempo de servicio
TCB	Tobishima Pier South Side Container Terminal
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>

TEU	<i>Twenty-foot Equivalent Unit</i>
TICs	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TOC	<i>Theory of Constrains</i>
TOS	<i>Terminal Operating System</i> (SOT, Sistema Operativo de la Terminal)
TPC	Terminal Portuaria de Contenedores
TPS	<i>Trailer Positioning System</i>
TSB	Total Soft Bank
TSI	Terminal Systems Inc.
TT	Transporte Terrestre
TT	<i>Terminal tractor</i> (cabeza tractora)
TTI	Total Terminal International (Algeciras)
U.E.	Union Europea
U.S.	United States (Estados Unidos)
UNE	Una Norma Española
V	Voltaje, tensión o diferencia de potencial
V	Voltio
VAN	<i>Value-added network</i> (Red de Valor Añadido)
VAS	<i>Vehicle Alignment System</i>
VDS	Variable speed drive (velocidad variable)
VIT	Virginia International Terminals
vs.	<i>Versus</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> (Fidelidad Inalámbrica)
YICT	Yantian International Container Terminals Limited
ZETT	Zero Emissions Terminal Tractor
ZPMC	Shanghai Zhenhua Port Machinery Company







## Agradecimientos

La presente monografía es el resultado de parte del trabajo desarrollado en el marco del proyecto MASPORT: Metodologías de automatización y simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de terminales portuarias de contenedores, con financiación del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i) 2008-2011, completado en el año 2012 con el apoyo de la Autoridad Portuaria de Valencia.


Los autores quieren agradecer al Ministerio de Fomento y a la Autoridad Portuaria de Valencia la confianza que han tenido en el proyecto y en la agrupación encargada de desarrollarlo.

Asimismo los autores quieren agradecer a todos los miembros de la agrupación del Proyecto MASPORT su colaboración y dedicación: TCV Stevedoring Company, MSC Terminal Valencia, la Universitat Politècnica de València y Open Kode S.L.

Finalmente se quiere hacer una especial mención para aquellas personas, empresas e instituciones que han colaborado cediendo material gráfico para ilustrar el manual:

- ABB GROUP
- ARTURO MONFORT MULINAS
- AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA
- BROMMA CONQUIP
- CAVOTEC
- FANTUZZI NOELL IBERIA SLU
- CVS FERRARI SRL
- GRUPO DE INFORMÁTICA GRÁFICA AVANZADA (GIGA)
- HAMBURGER HAFEN UND LOGISTIK AG (HHLA)
- HANJIN NEWPORT CON. (HJNC)
- KALP TECHNOLOGY GMBH
- KONECRANES AUSIO SLU
- LEMANTEC SARL
- LIEBHERR-WERK NENZING GMBH
- LOXSYSTEM AB
- MSC TERMINAL VALENCIA, S.A.
- PACECO® ESPAÑA, S.A.
- RAM SPREADERS
- SHANGHAI ZHENHUA HEAVY INDUSTRIES CO.,LTD. (ZPMC)
- SICK AG
- SOCIEDAD DE ESTIBA Y DESESTIBA DEL PUERTO DE VALENCIA – SAGEP
- STEMMANN-TECHNIK GMBH
- TERBERG BENSCHOP B.V.





*Los errores reales (del libro) son tan infrecuentes, triviales e irrelevantes para el asunto principal que sería descortés entretenerse en ellos.*

Dr. LaMont C. Cole, profesor de Ecología en la Universidad de Cornell, sobre el libro "La primavera silenciosa" de R. Carson, 1962.

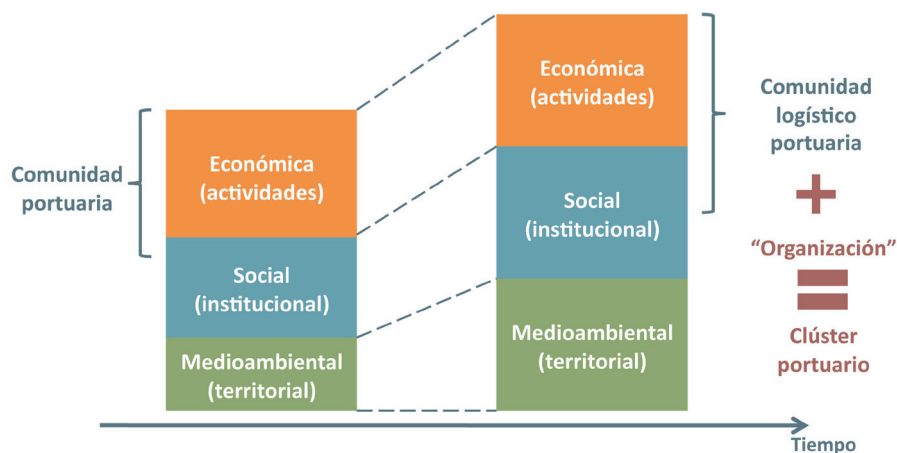
## Introducción

El objetivo de esta monografía es presentar de forma sistematizada las innovaciones tecnológicas y de gestión desarrolladas en las terminales portuarias de contenedores (TPCs) para el impulso de la línea estratégica de su modernización como elemento que aporta competitividad a las cadenas logísticas de contenedores donde estas quedan emplazadas como relevantes elementos nodales.

Si la primera monografía de la trilogía, desarrollada a partir del Proyecto MASPORT (“Metodologías de automatización y simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de terminales portuarias de contenedores”) a la que pone cierre la presente, se focalizaba en la terminal de contenedores desde una visión sistémica, integral e integrada en la cadena logística, en la presente se profundiza en tal contexto respecto a las innovaciones tecnológicas y de gestión que vienen procurando la competitividad de las referidas instalaciones. En unos casos se trata de mejoras internas que puede impulsar individualmente el gestor de la terminal y en otros es imprescindible la participación de los distintos *stakeholders* del Clúster Portuario que participan en la cadena logística (Figura 1).



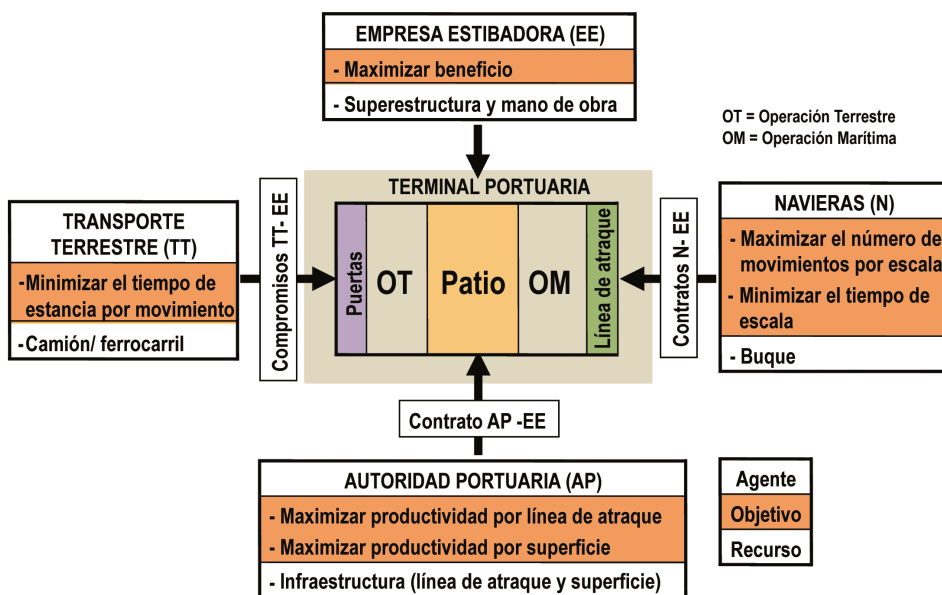
Figura 1. De la Comunidad Portuaria al Clúster



Fuente: Monfort *et al.* (2011a)

Conviene añadir que en la segunda de las monografías, bajo el título de “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores” (Monfort *et al.* 2011b) se aportan propuestas relacionadas con la definición y medición de aspectos críticos en la gestión de las terminales como el rendimiento operacional, la eficiencia, la capacidad y el nivel de servicio que deben conformar el lenguaje común de entendimiento entre los distintos agentes que interaccionan en la terminal portuaria (Figura 2).

Figura 2. Esquema del conflicto de intereses en la terminal portuaria



Fuente: Monfort (2008)

En una concepción innovadora de gobernanza portuaria se maneja el modelo de gestión “*landlord avanzado*” que, combinando de forma sinérgica las fortalezas del sector público y del privado, conforma una oferta portuaria moderna que apunta la conveniencia de la figura del *Clúster Manager* que asume el liderazgo del conjunto de procesos, costumbres, políticas y relaciones entre los *stakeholders* implicados en el nodo portuario; papel que de forma natural puede asumir la Autoridad Portuaria, otro agente o un conjunto de estos. El consenso en la identificación de la innovación y la formación como materias de interés común en clústeres como el portuario es amplio. Ese ha sido el sentido y el ejemplo de la trilogía que ha resultado a partir del Proyecto MASPORT en el que participaron significados agentes como los operadores de terminales y la propia universidad. La Fundación Valenciaport ha sido una vez más el instrumento que, impulsado desde la Autoridad Portuaria de Valencia al servicio del Clúster Portuario, ha materializado esta herramienta de conocimiento que debe ser palanca para la formación y la innovación.

## **Contenido de la monografía**

Tras el correspondiente encuadre de los contenidos de la monografía abordado en el presente capítulo de introducción, en el segundo se acomete la temática de la planificación y gestión estratégica de una terminal de contenedores, introduciendo una de las tres clasificaciones empleadas en la obra para la tipificación de las innovaciones relacionadas con las TPCs: la que las contempla como necesidad estratégica. Así se identifican y describen la necesidad de la mejora del rendimiento operacional; la del incremento de la seguridad y protección; y finalmente la necesidad de la contribución a la sostenibilidad ambiental.

En el Capítulo 3 se aborda el concepto de terminal portuaria de contenedores como sistema compuesto por los subsistemas de carga y descarga de buques o línea de atraque, de almacenamiento, de recepción y entrega y de interconexión, que constituye otro de los tres niveles de clasificación: el que contempla las innovaciones respecto a su empleo relacionado con la terminal como sistema o vinculada a uno u otro subsistema. También se presentan de modo sintético las diferentes tipologías de terminales de contenedores atendiendo a su equipamiento, aportando asimismo una comparación básica de las mismas.

A través del Capítulo 4 se introduce el concepto de decisión operacional que a su vez se clasifica desde la perspectiva del horizonte de la planificación y gestión y por subsistemas, resultando una matriz que permite conformar un mapa de las decisiones operacionales más relevantes para una TPC. Cada una de las identificadas se desarrolla en el Anexo del documento.

El Capítulo 5 aborda la clasificación conceptual de las innovaciones que da título a la monografía repasando conceptos y diversas taxonomías que se vienen manejando en los últimos años en dicha área temática conceptual. La clasificación en innovaciones tecnológicas y de gestión se corresponde con la contemplada por AENOR (2007).

Los Capítulos del 6 al 10 despliegan las innovaciones en terminales de contenedores en las tres dimensiones de clasificación manejadas. Así, a nivel de Capítulo se desarrollan en el 6 las innovaciones como sistema, correspondiendo, respectivamente, el 7, 8, 9 y 10 con los subsistemas de carga y descarga, almacenamiento, recepción y entrega e interco-



nexión. Cada uno se estructura en los otros dos niveles: primero en innovaciones tecnológicas y de gestión, y en segundo lugar por su contribución a la mejora del rendimiento, el incremento de la seguridad y la sostenibilidad ambiental.

Cabe subrayar el hecho de la aportación incluida en el Capítulo 6 del desarrollo del instrumento de Cuadro de Mando Integral aplicado a una terminal de contenedores, ejercicio realizado en el contexto del Proyecto MASPORT, por su novedad y potencialidad práctica en la esfera de las terminales de contenedores.

Finalmente se aporta una extensa bibliografía en la que se presentan tanto las referencias bibliográficas citadas a lo largo del texto como otras fuentes de apoyo empleadas en la monografía.

*If you don't know where you are going, any road will get you there. (Si no sabes dónde vas, ningún camino te llevará allí).*

Lewis Carroll, clérigo, matemático y escritor



## Planificación y gestión estratégica de una TPC

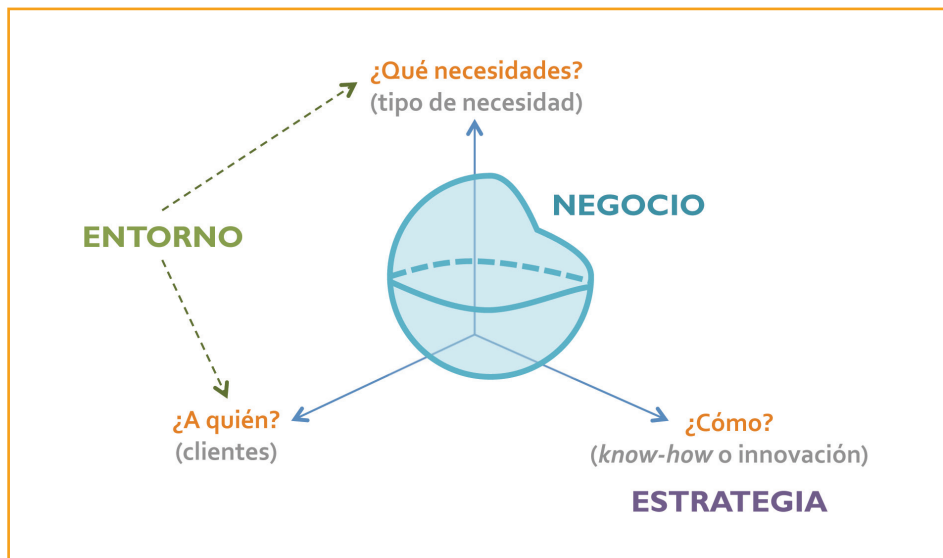
En el escenario anteriormente descrito, una Terminal Portuaria de Contenedores (TPCs) de un puerto gestionado bajo el modelo *landlord* es una empresa con fines económicos, dedicada al negocio de la manipulación de contenedores para permitir la conexión entre los modos de transporte terrestre y marítimo, conformándose en la cadena logística del contenedor como un nodo de vital importancia, según exponen Monfort et al. (2011a). Como empresas, las TPCs requieren de una estrategia.

Una estrategia claramente definida y debidamente transmitida a toda la organización es un elemento clave para que una empresa alcance los objetivos que se ha propuesto y sea competitiva dentro de su sector y su entorno.

En un proceso regulable, la estrategia es el “conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento” (RAE, 2011).

En el caso de una empresa, la **estrategia** es el conjunto de acciones que llevan a esta a alcanzar sus objetivos y metas, creando valor para sus accionistas, clientes y para la sociedad en general. Es la tercera dimensión del negocio (Abell, 1980) y describe cómo una empresa se adapta al entorno dando solución a las necesidades de cierto sector del mercado de forma diferente al resto de empresas que luchan por atraer-satisfacer los mismos pares de cliente-necesidad (Figura 3).

Figura 3. Concepto de negocio



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de Abell (1980)

La **Planificación Estratégica** es el proceso de definición y concreción de la estrategia empresarial. Es una metodología que permite el desarrollo y la implementación de acciones para alcanzar los objetivos definidos en el propio proceso. Esta metodología reduce el riesgo de fracaso puesto que previene los principales errores a la hora de formular la estrategia gracias al despliegue de una serie de etapas (Figura 4):

- Análisis y Diagnóstico de la situación actual;
- Declaración de Misión, Visión y Valores;
- Definición de la Estrategia y de la Propuesta de Valor;
- Formulación de un Plan de Acción;
- Seguimiento y control.

```

graph LR
    A[ESCUENARIO ESTRATÉGICO] --> D[MISIÓN VISIÓN VALORES]
    B[DIAGNÓSTICO COMPETITIVO] --> D
    D --> E[ESTRATEGIA]
    D --> F[LÍNEAS ESTRATÉGICAS]
    D --> G[OBJETIVOS ESTRATÉGICOS]
    E --> F
    F --> G
    F --> H[PLAN DE ACCIÓN]
    G --> H
    H --> I[SEGUIMIENTO Y CONTROL]
    I --> F
    I --> G
    J[POLÍTICAS] --> D
    J --> F
    subgraph Planificación_Estratégica [Planificación Estratégica]
        A
        B
        D
        E
        F
        G
        H
    end
    subgraph Gestión_Estratégica [Gestión Estratégica]
        I
    end

```



valor el respeto al medio ambiente transmite a sus empleados, clientes, proveedores y a la sociedad en general que sus actuaciones deben estar condicionadas necesariamente por esta inquietud, para lo que formula una política medioambiental. La innovación es otro de los posibles valores a adoptar por parte de una empresa, que al igual que el respeto por el medio ambiente originará una política, en este caso de innovación.

No se debe confundir estrategia con política. Las políticas, aunque necesarias, son menos trascendentes que las estrategias para el futuro de la empresa, y se mantienen estables durante largos periodos de tiempo sin verse afectadas por cambios en el entorno. Suponen un compromiso formal y público de la empresa con unos criterios de decisión para la selección de alternativas; son directrices para ejecutar la estrategia que acotan o amplían las capacidades y el campo estratégico de la empresa. Por ejemplo, una empresa puede tener una política financiera conservadora con un endeudamiento limitado que restrinja su capacidad de financiación, y por tanto sus posibilidades estratégicas. Por otra parte, una política de calidad adecuadamente interiorizada puede canalizar las iniciativas estratégicas a favor de la incorporación de la orientación al cliente en el proceso de toma de decisiones, aumentando la capacidad de satisfacer al mismo. Obviamente, al igual que la estrategia, las políticas empresariales han de ser adecuadas para cada empresa y estar ajustadas a las necesidades y expectativas de sus clientes (Gimbert, 2010).

Teniendo en cuenta estas etapas previas, la empresa debe articular su **estrategia** de manera clara y concisa, dividiéndola en **Líneas Estratégicas**, que son los ejes fundamentales en que se basa la empresa para llevar a cabo su Misión y alcanzar su Visión y que se concretan en **Objetivos Estratégicos** fácilmente cuantificables; y, formular una **Propuesta de Valor** competitiva, única y sostenible en el tiempo.

Según Kaplan y Norton (2004), la Propuesta de Valor es la forma en que la empresa crea valor para sus clientes, combinando en su oferta producto, calidad, precio, servicio y garantía. Debe ser formulada de forma que ofrezca a su segmento de mercado objetivo una ventaja competitiva que permita a la empresa destacar respecto a la competencia en algún aspecto clave del sector, siendo necesario que dicha diferencia sea percibida y apreciada, es decir valorada, por su cliente. Porter (1985) plantea tres maneras de conseguir dicha ventaja competitiva: la diferenciación en base a una dimensión estratégica (calidad, tecnología, marca, servicio, diseño o innovación), al liderazgo en costes o a la especialización. La elección del camino idóneo en cada caso depende de lo que valora el cliente objetivo.

Para la materialización de la Propuesta de Valor y la consecución de estos Objetivos Estratégicos es necesario formular un **Plan de Acción**, que no es más que una colección de proyectos o iniciativas estratégicas coherentes entre sí, con sus respectivos planes de implementación, cuyo objetivo es traducir la estrategia a términos operativos de la forma más eficiente posible. La ejecución de dicho Plan de Acción, derivado de la Planificación Estratégica y de acuerdo con las políticas empresariales, es lo que se conoce como Gestión Estratégica (Figura 6).

La **Gestión Estratégica** es el proceso continuo de ejecución de la estrategia y se corresponde con las últimas etapas de la Planificación Estratégica o, en palabras de Garrido (2006), es un *“planteamiento metodológico acerca de cómo coordinar las acciones de las diferentes partes de una organización con el fin de asegurar su desarrollo y mantenimiento en el espacio y en el tiempo y todo ello en un entorno de competencia”*. A diferencia de la Gestión Operativa, encargada de resolver problemas concretos que surgen en el día a día, la Gestión Estratégica se orienta hacia el largo plazo y comprende una visión global de la empresa y del entorno en que esta desarrolla su negocio con el objetivo último de alcanzar sus fines económicos mediante la toma de las decisiones adecuadas a nivel estratégico, en principio acordes a la implementación del Plan de Acción previamente formulado. Mientras que durante la fase de formulación del Plan de Acción (Planificación) se busca la eficiencia, durante su ejecución (Gestión) se persigue la eficacia.

De la dependencia de la estrategia del entorno —económico, social, político, legal y tecnológico— en el que se desarrolla el negocio, punto de arranque de la Planificación Estratégica y cambiante por definición, se deduce la necesidad de una constante adaptación de las decisiones estratégicas derivadas de la Gestión Estratégica a los cambios producidos en dicho entorno. Así, la vigilancia continua y la flexibilidad se convierten en requisitos fundamentales a la hora de implementar el Plan de Acción para poder corregir aquellas decisiones que, por estar inicialmente mal formuladas o por no ajustarse a las nuevas condiciones de contorno, puedan privar a la empresa de alcanzar su Visión.

Es en este punto cuando se pone en marcha la última etapa de la Planificación Estratégica: la de **seguimiento y control**. Dependiendo de los resultados obtenidos de la Gestión Estratégica, deben tomarse decisiones de gestión referentes al Plan de Acción que aproximen dichos resultados a los deseados de acuerdo con los Objetivos Estratégicos definidos, pudiendo incluso ser conveniente reformular, no solo las iniciativas que resulten ineficaces o poco eficientes, sino también niveles superiores de la estrategia

para adaptarlos al escenario actual, a los cambios acontecidos en el seno de la empresa y a las nuevas previsiones de futuro. Así, la Planificación y la Gestión Estratégica convergen en un bucle que retroalimenta las Líneas Estratégicas, los Objetivos Estratégicos, la Propuesta de Valor y el Plan de Acción en base a los resultados de la ejecución del propio Plan de Acción vigente, originando un proceso continuo de revisión y reformulación de la estrategia.

Tradicionalmente, para la toma de decisiones, la Gestión Estratégica se ha apoyado en indicadores de tipo financiero. Sin embargo, en la actualidad existen en el mercado diferentes herramientas de gestión diseñadas para facilitar tal desempeño de la Gestión Estratégica que permiten integrar la gestión financiera, la gestión de clientes, la gestión de operaciones y la gestión de recursos a la vez que llevan a cabo un seguimiento y control de los resultados de la misma, permitiendo adelantarse a la necesidad de reformulación de la estrategia a partir de estos. Una de estas herramientas es el Cuadro de Mando Integral –CMI o BSC con sus siglas en inglés– (Kaplan y Norton, 1997) cuya adaptación para Terminales Portuarias de Contenedores se propone como innovación de gestión en el apartado 6.2.1 del presente libro, aunque existen otras, como por ejemplo el *Business Process Management* –BPM– (Jeston y Nelis, 2008).

## 2.1. Estrategia de la TPC

Para que la estrategia de una terminal portuaria de contenedores esté correctamente formulada debe seguir la metodología de Planificación Estratégica. De acuerdo con este proceso, la estrategia de una TPC, como la de cualquier empresa, se subdivide en **Líneas Estratégicas**. Éstas son las directrices fundamentales y prioritarias de desarrollo de la terminal, agrupando cada una de ellas uno o varios objetivos estratégicos. En principio, las Líneas Estratégicas de las TPCs se asemejan a las de muchas otras empresas y reflejan los principales ejes de actuación: la excelencia operativa, el crecimiento, el desarrollo y la modernización, y la integración con el entorno (Martín-Soberón, 2010).

Aunque inicialmente esta propuesta de Líneas Estratégicas es genérica, y por tanto compartida por la mayoría de terminales, cabe mencionar que cuando se trata de planificar y gestionar una terminal a nivel estratégico hay que tener en cuenta ciertas características de la misma consecuencia de la tipología de terminal. De entre las clasificaciones propuestas por Monfort et al. (2011a), que las distinguen según su tamaño, el tráfico al que atienden y el equipo de patio que emplean, tiene una especial relevancia a la hora



de formular y ejecutar la estrategia de una terminal la que diferencia entre terminales públicas y terminales dedicadas.

Las terminales públicas (*common user terminals*) atienden buques de cualquier naviera mientras que en las terminales dedicadas solo operan buques de la compañía que gestiona la terminal o de su mismo grupo empresarial. Las terminales dedicadas son una consecuencia de la integración vertical de las navieras. La Gestión Operativa de las terminales dedicadas suele ser más sencilla que la de las terminales públicas ya que al tener un solo cliente generalmente el flujo de información es más simple, las llegadas de los buques están más controladas y la gestión del patio se simplifica.

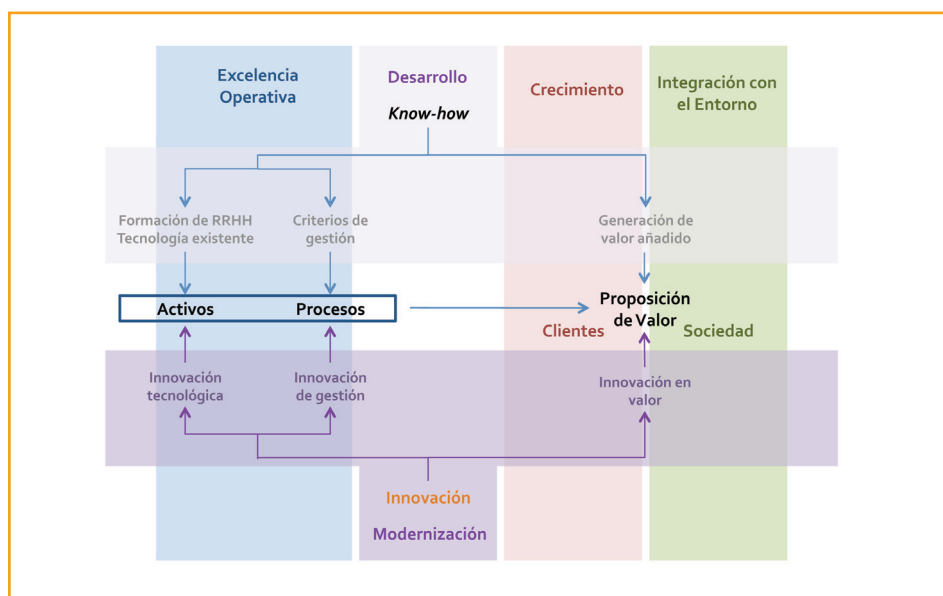
Al desarrollar la Planificación Estratégica las principales diferencias entre terminales de contenedores de ambos tipos se manifiestan en la definición de su Misión, la Propuesta de Valor para su cliente –la naviera– y en que las TPCs dedicadas no tienen Línea Estratégica de crecimiento porque son una unidad de negocio al servicio de la naviera y por tanto atienden al volumen de tráfico que esta, de acuerdo con su estrategia como transportista marítimo, les provee.

Volviendo sobre las cuatro líneas estratégicas definidas para una terminal pública –la excelencia operativa, crecimiento, desarrollo y modernización e integración con el entorno (Figura 5)–, las dos primeras hacen referencia al enfoque tradicional de la empresa hacia la maximización de sus resultados financieros; una empresa puede aumentar su beneficio económico por medio de dos caminos: la productividad o eficiencia, obtenida a través de la **excelencia operativa**, lo que reduce el coste por unidad producida; y el **crecimiento**, lo que incrementa su volumen de operaciones. A su vez, la productividad o excelencia operativa también contribuye al crecimiento, en cuanto a que en las TPCs la mejora de la productividad, además de posibilitar un mayor volumen de operaciones dentro de unas instalaciones portuarias cuya capacidad depende de esta variable, es también un aspecto importante de la Propuesta de Valor de las terminales para las navieras, y por lo tanto una dimensión estratégica que les permite diferenciarse de la competencia y captar clientes.

La línea estratégica de **desarrollo y modernización** está directamente relacionada con los recursos y su forma de gestionarlos –los procesos–, es transversal a la organización y contribuye a la consecución de las dos anteriores; se refiere a la manera de hacerlo. Esta línea estratégica condiciona la formulación de las iniciativas estratégicas del Plan de Acción, ya que para crear valor para accionistas y clientes, propone el reto de

la mejora permanente del negocio a través de la búsqueda e identificación de **ideas de mejora** en las operaciones que en la terminal se llevan a cabo mediante el despliegue de dos vías de actuación: el desarrollo y la modernización (Figura 5); o en otras palabras, mediante el *know-how* y la innovación respectivamente, como ya anticipaba la Figura 3.

Figura 5. Líneas estratégicas de una terminal portuaria de contenedores



Fuente: Fundación Valenciaport

En este contexto, el “desarrollo de una actividad” se refiere a la búsqueda e identificación de ideas de mejora basadas en el **know-how**. El *know-how* es el activo intangible formado por los conocimientos preexistentes, no siempre académicos (conocimiento, técnicas, información, habilidades, etc.), y tiene una relación directa con la experiencia con la que cuenta una empresa para desarrollar sus actividades productivas, administrativas, financieras, comerciales y de control.

Actualmente existen metodologías para sistematizar la búsqueda y facilitar la identificación de estas ideas de mejora y la posterior formulación de iniciativas estratégicas basadas en el *know-how*; muchas de ellas tienen su origen en procesos de producción industrial aunque pueden aplicarse a terminales portuarias de contenedores. Entre otras, la Teoría de Restricciones, o *Theory of Constraints* (TOC), es un conjunto de procesos de pensamiento que utiliza la lógica de causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar ideas de mejora basadas en la identificación de cuellos de botella. Como complementos a esta teoría existen otras herramientas como *Lean Six Sigma* y el mapeo de valor. El *Lean Six Sigma* (LSS) es una metodología de mejora de procesos, basada en métodos estadísticos para la reducción de la variabilidad de aquellos, cuya aplicación consigue reducir o eliminar los defectos o fallos en la entrega de un producto al cliente. El mapeo del valor, por su parte, trata de representar gráficamente los elementos de producción e información permitiendo conocer y documentar el estado actual y futuro de un proceso. En cualquier caso, aunque las ideas de mejora derivadas de estas metodologías se basen en el *know-how*, la aplicación de alguna de estas herramientas en terminales de contenedores es una innovación en sí misma, puesto que hoy por hoy son prácticas poco extendidas en el ámbito portuario.

La modernización está directamente relacionada con la aparición e implementación de **innovaciones**. Esta es otra forma de perseguir la excelencia en las operaciones y el crecimiento: dotando al Plan de Acción de un enfoque nuevo como fuente de generación de valor para la terminal, bien (1) introduciendo un recurso o un proceso novedoso mediante la implantación de innovaciones en la TPC, como las propuestas en el párrafo anterior; o bien (2) sirviéndose de la innovación como dimensión estratégica que le permita distinguirse de la competencia formulando soluciones originales para sus clientes y por tanto una Propuesta de Valor diferente a las existentes en el mercado. Esta segunda alternativa es lo que se conoce como innovación en valor (Kim y Mauborgne, 2008).

Como su título indica, este libro se centra en la parte de la estrategia de la terminal correspondiente a la implantación de innovaciones tecnológicas y de gestión en la TPC. Estas son innovaciones en valor para las TPCs, que son los clientes finales de los fabricantes de equipos y de los creadores de *software* y herramientas de gestión para terminales. Aunque los efectos de estas iniciativas estratégicas, consistentes en innovar en recursos o procesos, puedan repercutir en la satisfacción de los clientes de la terminal (menor

tiempo de operación de buques, menos colas de camiones, etc.), su implantación no supone la creación de un valor original para ellos, sino que es más bien una ventaja frente a la situación anterior. El interés de publicar una monografía que trate sobre un aspecto tan específico de la estrategia de una TPC reside en divulgar esta fuente generadora de valor para la terminal de contenedores, en muchos casos infrautilizada. A día de hoy, existe un amplio recorrido de mejora basado en este tipo de soluciones como así lo han reconocido la Maritime and Port Authority of Singapore (MPA) y PSA Corporation Ltd. (2011) quienes, en el convenio firmado entre ambos para la investigación y el desarrollo de tecnología portuaria, manifiestan que la obtención de herramientas y soluciones innovadoras es esencial para alcanzar altos niveles de productividad y asegurar la eficiencia en el puerto *hub* más grande del mundo, comprometiéndose con ello.

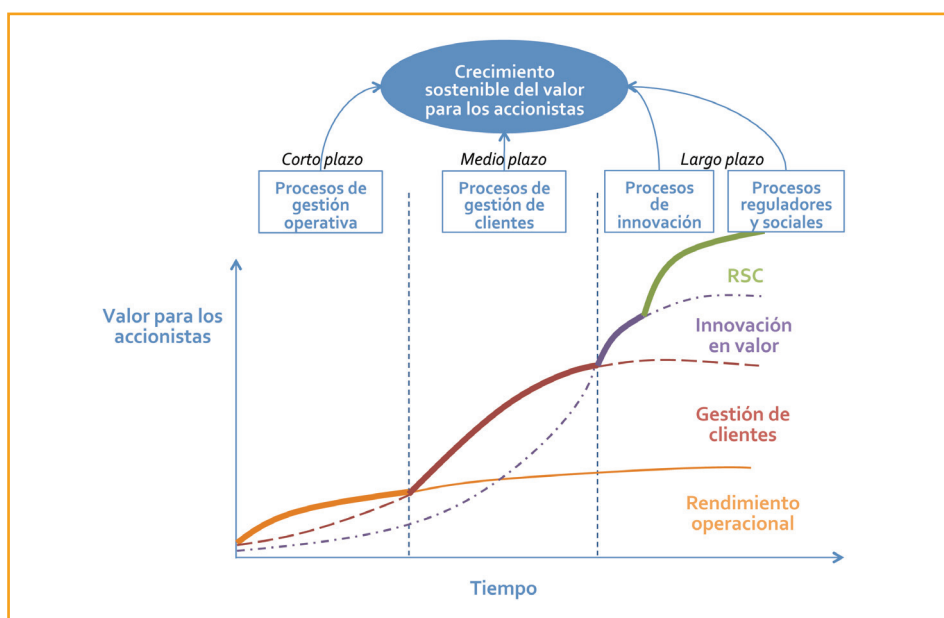
Por último, en lo que a innovación en valor para sus clientes se refiere, al igual que ha sucedido en otros sectores, una consecuencia de la modernización de la terminal a nivel de Propuesta de Valor, cuyos resultados no son necesariamente económicos, es la aparición de la línea estratégica de **integración con el entorno**.

En los últimos años, gran parte de la preocupación de las empresas se ha redirigido hacia aspectos relacionados con la minimización de los impactos negativos que producen sobre el entorno, reorientando su gestión estratégica mediante la ejecución de políticas de Desarrollo Sostenible, que contempla de manera simultánea las perspectivas económica, social y ambiental, desde la Responsabilidad Social Corporativa (RSC), un hecho que está en consonancia con el creciente interés y el aumento de la sensibilización que estos temas suscitan en la sociedad. Para incluir en la estrategia de la terminal esta nueva forma de concebir el negocio y todos los objetivos estratégicos de la empresa relacionados con dichas cuestiones, se ha definido esta nueva línea estratégica del negocio ligada a la etapa de madurez del mismo.

De acuerdo con la Figura 6, que representa la creación de valor para los accionistas de una empresa en los diferentes horizontes temporales de la vida de un producto, en una primera etapa las empresas generan beneficios mediante una mejora del rendimiento de la operativa. En el medio plazo, el rendimiento operacional requiere de una adecuada gestión de clientes para que el valor no se estanque. Finalmente, a largo plazo, son los procesos de innovación en valor y los procesos reguladores y sociales, relativos a mejoras en aspectos relacionados con el medioambiente, la seguridad y salud, el empleo y las

inversiones en la comunidad, los que permiten incrementar el valor para los accionistas. De hecho, la falta de un desempeño adecuado en los procesos reguladores y sociales pone en riesgo la capacidad de la empresa de operar, crecer y entregar valor futuro a los accionistas. En el negocio de las terminales portuarias de contenedores se percibe una evolución similar a la descrita.

Figura 6. Creación de valor para los accionistas de una empresa en diferentes horizontes temporales



Fuente: Kaplan y Norton (2004) (nomenclatura adaptada)

Al igual que otros sectores, inicialmente las terminales portuarias de contenedores focalizaban todos sus esfuerzos en la mejora del **rendimiento operacional** por dos motivos, ambos referidos a la perspectiva económica del negocio. El primero de ellos era y sigue siendo la reducción de los costes de la operativa por contenedor manipulado. El segundo, satisfacer los requisitos de nivel de servicio que imponían sus clientes directos, las navieras —requisitos de tiempos de estancia en puerto y productividades— (Monfort

et al., 2011b). La mejora del rendimiento operacional está también relacionada con la obtención de resultados económicos mediante el crecimiento del volumen de las operaciones derivado de la satisfacción del cliente (gestión de clientes o *marketing*).

Con la modernización de la interpretación del concepto cliente de la terminal portuaria hasta alcanzar la acepción más amplia de la palabra, que incluye a navieras y otros transportistas, cargadores, el entorno, la Administración, otros *stakeholders* y la sociedad en general (Monfort, 1995), y con la evolución de las demandas de aquellos considerados históricamente como clientes, las navieras, en consonancia con las necesidades de la Pirámide de Maslow (1943), de acuerdo con la Figura 3 las terminales han reformulado su estrategia y su Propuesta de Valor de forma que dan cabida a las necesidades de todos estos agentes, incorporando objetivos estratégicos de **seguridad y protección** (perspectiva social) y de **sostenibilidad ambiental** (perspectiva ambiental). Las actuaciones derivadas de estas propuestas no suelen reportar beneficios económicos directos, sino que su necesidad se hace patente al incorporar los impactos negativos que genera la empresa a modo de externalidades a la hora de calcular la viabilidad económica del negocio. Al margen, como recoge la Figura 6, muchas veces invertir en la sociedad conlleva beneficios de imagen que, bien gestionados, pueden tener una influencia positiva en las cuentas de la empresa a largo plazo.

## **2.2. Necesidades estratégicas de una TPC**

Así, en la concepción moderna que requiere el negocio de las TPCs, podría concluirse que para un desarrollo sostenible de la actividad de la terminal (Figura 7), su estrategia debe considerar, de manera simultánea, las siguientes **necesidades estratégicas**:

- La mejora del rendimiento operacional;
- El incremento de la seguridad y protección;
- La contribución a la sostenibilidad ambiental.

Figura 7. Desarrollo Sostenible en una Terminal Portuaria de Contenedores



Fuente: Fundación Valenciaport

En posteriores capítulos del libro, al describir las innovaciones tecnológicas y de gestión existentes en TPCs, estas tres necesidades constituyen un nivel de clasificación de innovaciones, más concretamente el tercero de los tres propuestos en el Capítulo 5, que permite catalogar las innovaciones según la necesidad estratégica a la que dan solución. La cantidad de soluciones que existen en el mercado, innovadoras o no, para cada una de estas tres necesidades es directamente proporcional al tiempo que esta lleva siendo considerada como tal.

A continuación se describe el porqué de la consideración de cada una de ellas.

### 2.2.1. Mejorar el rendimiento operacional

La mejora del rendimiento operacional hace referencia a la necesidad estratégica de la perspectiva económica del negocio. Su enunciación es la más intuitiva de las tres puesto que responde a los intereses de la propia terminal –sus accionistas– y de las navieras –sus clientes comerciales–.

En este contexto se definen las siguientes categorías del rendimiento portuario (Tabla 1, Monfort et al., 2011b):

Tabla 1. Categorías de medición de rendimiento en puertos

Categoría		Definición
Rendimiento operacional	Producción	Expresa el volumen de manipulación de la terminal en un periodo de tiempo, sin explicitar los recursos empleados. Cuando se expresan en unidades monetarias, se generan los indicadores financieros. Ejemplos: Tráfico anual o <i>throughput</i> (t/año; TEUs/año)
	Productividad	Es el volumen de mercancías manipulado por unidad de recurso y por unidad de tiempo. Está relacionada con el ritmo de trabajo de los diferentes recursos de la terminal. Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad de línea de atraque (TEUs/m y año);</li> <li>• Productividad de buque en puerto (TEUs/h);</li> <li>• Productividad de grúa (movimientos/h).</li> </ul>
	Utilización	Define la intensidad con la que se usan los recursos, es decir, el ratio expresado en porcentaje, entre el uso de un determinado recurso y el máximo posible en un periodo de tiempo. Ejemplo: Utilización de la línea de atraque (% de ocupación)
Eficiencia		Es la relación entre los recursos utilizados ( <i>inputs</i> ), infraestructuras y equipamiento, y los resultados de explotación logrados ( <i>outputs</i> ), tráfico.
Capacidad		Es el máximo tráfico al que una terminal marítima puede dar servicio en un escenario definido.
Nivel de Servicio		Es una medida de la calidad percibida por los clientes de la terminal.

Fuente: Fundación Valenciaport

Al mejorar el **rendimiento operacional** la terminal consigue reducir sus costes, ampliando su margen de beneficio, y aumentar su **capacidad**, lo que le permite incrementar el volumen de operaciones. Ambas cuestiones, el margen de beneficio y el volumen de operaciones, son las variables que determinan el resultado económico de una empresa.

Sin embargo, como ocurre en otras industrias, en una TPC el volumen de operaciones no depende exclusivamente de la capacidad. Esta es una condición necesaria pero no



suficiente. El volumen de operaciones depende de la decisión del cliente de adquisición del servicio, función a su vez de su grado de satisfacción respecto a la Propuesta de Valor formulada por la terminal.

La Propuesta de Valor de una TPC, además de estar vinculada a su ubicación geográfica, contar con una oferta de infraestructuras adecuada (instalaciones y conexiones con las infraestructuras de transporte terrestre), procurar precios competitivos, etc., debe garantizar una calidad o **nivel de servicio** mínimo, atractivo para el segmento de mercado al que se dirige, de forma que pueda captar y fidelizar clientes (navieras), y por consiguiente incrementar su volumen de operaciones y sus beneficios económicos. El nivel de servicio demandado depende entre otros factores, de si la TPC es pública o dedicada. En Monfort *et al.* (2011b) se realiza una novedosa propuesta de nueve niveles de servicio para el subsistema de carga y descarga de buques, asociados a la calidad percibida por las navieras y que quedan determinados por dos variables: la espera relativa (tiempo de espera respecto al tiempo de servicio) y la productividad anual media de buque atracado (Tabla 2). De esta forma, en el negocio de la manipulación de contenedores el rendimiento operacional forma parte de la Propuesta de Valor.

Tabla 2. Propuesta de niveles de servicio para las navieras

Nivel de servicio	Espera relativa	NIVELES DE SERVICIO			
D	> 0,2	-	-	-	-
C	0,1 - 0,2	-	CC	BC	AC
B	0,05 - 0,1	-	CB	BB	AB
A	hasta 0,05	-	CA	BA	AA
		< 35	35-50	50-65	> 65
		Productividad anual media de buque atracado (P) (cont./h)			
		D	C	B	A
		Nivel de servicio			

Fuente: Monfort *et al.* (2011b)

En definitiva, la mejora del rendimiento operacional afecta al rendimiento económico de la TPC, por un lado, reduciendo los costes de las operaciones y aumentando la capacidad de las instalaciones y por otro, incrementando su volumen de operaciones mediante la formulación de una Propuesta de Valor (nivel de servicio) más competitiva. Por todo ello, constituye la primera y más básica de las tres necesidades estratégicas de cualquier terminal y genera buena parte de las iniciativas estratégicas de su Plan de Acción.

### **2.2.2. Incrementar la seguridad y la protección**

En paralelo, la perspectiva social del Desarrollo Sostenible en terminales portuarias de contenedores demanda procesos cada vez más seguros frente a accidentes y también en términos de defensa. Respectivamente, el incremento de la seguridad y protección es una necesidad estratégica compartida por la sociedad, tanto en conjunto como particularizada en los trabajadores de la terminal, y por la propia terminal como empresa, es decir, por sus accionistas.

La seguridad (*safety* en inglés) busca la reducción de riesgos de accidentes, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia del suceso mediante la implementación de medidas preventivas, y minimizando el impacto de los mismos a través de medidas correctivas; estas últimas incluyen la gestión de recursos durante las emergencias. La seguridad hace referencia a los trabajadores de la terminal, las infraestructuras, las instalaciones, los equipos, la mercancía, los buques y las aguas portuarias, entre otros. La seguridad frente a accidentes en aguas portuarias contribuye además a la sostenibilidad ambiental.

Por su parte, la protección (*security* en inglés) pretende una mejora en el grado de defensa frente a peligros, daños, pérdidas y actividades criminales, y afecta a las mercancías, los buques, las instalaciones portuarias, los trabajadores de la terminal y el resto de agentes implicados como los servicios de transporte terrestre o los de inspección.

En este sentido, al igual que en otros sectores, además de la regulación común, como la relativa a prevención de riesgos laborales, el transporte marítimo también dispone de normativa propia. Desde comienzos del siglo XX diferentes organismos internacionales públicos y privados y asociaciones interregionales, generalmente inducidos por grandes catástrofes causadas por accidentes o ataques, así como por la creciente persecución del contrabando, han aprobado convenios, reglas, recomendaciones y normas, etc., con

diferente grado de obligatoriedad de transposición y cumplimiento para los países que los suscriben. Entre ellos destacan el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78), el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS, 1960) y el Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias (Código PBIP, ISPS Code en inglés, 2002), los tres promulgados por la Organización Marítima Internacional (OMI, IMO en inglés), agencia especializada de la ONU fundada en 1958 que promueve la cooperación entre Estados y la industria marítima en temas como eficiencia en navegación, prevención y control de la contaminación marítima causada por buques y seguridad marítima.

En otras ocasiones, debido al carácter global del comercio marítimo, son los propios países con su legislación nacional quienes afectan al desarrollo del intercambio de mercancías contenedorizadas. En este sentido, en lo relativo a protección, Estados Unidos puso en marcha en 2002 la Iniciativa de Seguridad de Contenedores (*Container Security Initiative*, CSI) administrada por la Oficina de Aduanas y Protección de Fronteras (CBP, por sus siglas en inglés), una oficina del Departamento de Seguridad Nacional, que tiene como objetivo impulsar la seguridad en las fronteras de Estados Unidos y proteger el sistema de comercio mundial mediante el control de los contenedores que se embarcan en los puertos de todo el mundo con destino a ese país (CBP, 2011).

Estos convenios, reglas, recomendaciones, normas y leyes imponen nuevas restricciones al transporte marítimo, convirtiéndose en requisitos mínimos para la prestación del servicio que limitan el modelo de negocio de las terminales portuarias de contenedores, dificultando el flujo físico del contenedor y haciendo más complejo el flujo documental asociado a este. El reto para estas empresas consiste en cumplir con la legalidad sin que su rendimiento se vea afectado y con los menores costes posibles.

Por otro lado, además de para poder desarrollar su actividad en el marco de la legalidad, las terminales portuarias invierten en seguridad y protección para minimizar las pérdidas consecuencia de fallos a este respecto. Los errores en seguridad o protección en las instalaciones de una terminal generan grandes impactos sobre todo cuando se ven involucradas mercancías peligrosas o vidas humanas, y conllevan pérdidas económicas millonarias. Las terminales están obligadas a contratar seguros para cubrir estas contingencias. Habitualmente, los contratos de concesión entre la Autoridad Portuaria y el operador obligan a este a la contratación de un seguro de responsabilidad civil y un

seguro de indemnización por riesgos profesionales, cuyas primas dependen del historial y del riesgo de sufrir nuevas pérdidas. Así, una inversión a tiempo en medidas preventivas y correctivas supone primas menores a pagar por la terminal, a la vez que mitiga el inevitable deterioro de imagen que acarrearán estos sucesos.

Como conclusión de lo anterior, la necesidad de incremento de la seguridad y protección debe ser tenida en cuenta desde la estrategia y abordada desde el Plan de Acción de la terminal portuaria de contenedores, lo que la convierte en su segunda necesidad estratégica.

### **2.2.3. Contribuir a la sostenibilidad ambiental**

Por último, la contribución a la sostenibilidad ambiental responde, como su enunciación anticipa, a la necesidad estratégica de la perspectiva medioambiental del Desarrollo Sostenible, y es consecuencia de las nuevas demandas de la sociedad, cada vez más concienciada del impacto ambiental que la actividad de un puerto comercial produce.

En la actualidad el transporte marítimo se configura como una de las alternativas de transporte de mercancías más viables en lo que a sostenibilidad se refiere, y más aún el transporte de mercancía contenedorizada puesto que debido a la forma de presentación de la mercancía —confinada dentro de contenedores—, la contaminación producida por este es mucho menor que la producida, por ejemplo, durante la manipulación de carga a granel sólido. Sin embargo, el comercio marítimo, como cualquier otra actividad humana, genera impactos en el medio físico no solo en la costa sino también en otras zonas del territorio por extensión de la cadena logística del contenedor. El espectacular crecimiento del tráfico marítimo durante la segunda mitad del siglo XX ha puesto en el punto de mira los efectos medioambientales secundarios de esta actividad que requiere de la construcción de infraestructuras de transporte que consumen recursos y generan residuos durante las distintas fases de su vida útil: construcción, explotación y desmantelamiento (ESCAP, 1992). Conscientes de sus impactos, los puertos han elevado las cuestiones relacionadas con el medio ambiente a la categoría de aspectos clave para su gestión; prueba de ello son las numerosas referencias a la gestión ambiental en puertos publicadas durante los últimos 20 años (IAPH, 1991; Couper, 1992; Vandermeulen, 1996; AAPA, 1998; Paipai, 1999; Wooldridge *et al.*, 1999; ESPO, 2003; Torres *et al.*, 2007; ESPO, 2010; entre otras).

Dentro del puerto, las terminales portuarias y los buques que escalan en estas son los causantes de la mayor parte de los impactos producidos durante la fase de explotación de las infraestructuras (Trozzi y Vaccaro, 2000) y por tanto deben asumir como suya la necesidad estratégica de sostenibilidad ambiental de los puertos, y cooperar minimizando y mitigando sus impactos medioambientales negativos.

Los impactos generados por el binomio terminal-buque afectan principalmente a la calidad de las aguas, la contaminación del fondo marino, la calidad del aire, el nivel de ruido y de vibraciones, la gestión de residuos y la contaminación lumínica. De acuerdo con la European Sea Ports Organisation (ESPO) y Ecoports Foundation (2010) el ruido, la calidad del aire y la producción de residuos eran en 2009 las tres mayores preocupaciones de los puertos europeos. Respecto al consumo de recursos, el gasto energético y el desarrollo de infraestructuras se encontraban también entre sus prioridades según el informe anterior.

En este sentido, para disminuir el impacto ambiental de las terminales se está innovando e invirtiendo en mejoras de eficiencia energética encaminadas a minimizar la cantidad de energía consumida por contenedor movido, pero también a potenciar el uso de energía eléctrica, que es más limpia que la procedente de combustibles fósiles y reduce las emisiones locales y el ruido generados por este tipo de empresas (Vieira *et al.*, 2011). Además de contribuir al medio ambiente, la mejora de eficiencia energética, al igual que la mejora de la eficiencia de las operaciones en general, reporta beneficios económicos inmediatos como consecuencia de la reducción de costes de producción por unidad. Los beneficios económicos se ven acrecentados en el medio plazo cuando, en un escenario de subida del precio del carburante, la mejora de la eficiencia energética se apoya en la electrificación de equipos.

Por otra parte, mientras que la fase de explotación de la terminal portuaria emplea principalmente recursos energéticos, la construcción consume una gran cantidad de recursos materiales. El mayor gasto se realiza durante la fase de localización de la instalación y persiste hasta su desmantelamiento puesto que, con carácter general, la localización de un puerto en un determinado lugar implica la aparición de infraestructuras donde antes no existían y, por consiguiente, priva a la sociedad de otros usos del suelo, a lo que se añade la alteración del paisaje. En este aspecto, las iniciativas del Plan de Acción, inicialmente destinadas a la mejora del rendimiento operacional pueden contribuir a la

sostenibilidad ambiental: un mayor rendimiento operacional implica un mejor aprovechamiento del espacio y por lo tanto minimiza la superficie necesaria frente a un escenario menos productivo, lo que retrasa la construcción de ampliaciones que consumen nuevos recursos materiales y producen más impactos ambientales.

Igualmente, en lo que a la perspectiva social se refiere, la mejora del rendimiento operacional por sí sola genera valor para su *hinterland* porque favorece la atracción de nuevas líneas navieras y reduce el coste del transporte, facilitando el comercio y generando riqueza a productores, que pueden exportar a nuevos mercados siendo más competitivos, y a consumidores, que tienen acceso a una mayor cantidad de productos a un precio menor. Asimismo, la atracción de nuevas líneas navieras de contenedores supone un aumento del tráfico, lo que habitualmente se materializa en la generación de puestos de trabajo, una externalidad valorada de modo muy positivo.

No obstante, muchas veces la sociedad no es consciente de estas ventajas por lo que siempre es conveniente para las terminales portuarias llevar a cabo campañas informativas, generalmente lideradas por la Autoridad Portuaria del puerto en que están ubicadas, sobre las actividades de Responsabilidad Social Corporativa que se están desarrollando, tanto en lo que respecta al incremento de seguridad y protección, como en lo referido a la contribución a la sostenibilidad ambiental y los beneficios que estas reportan a la sociedad. La percepción de la contribución activa y voluntaria a la mejora social, económica y ambiental, más allá de las leyes y normas, mejora las relaciones con la comunidad local, que es otra de las prioridades de los puertos europeos según el informe de la ESPO y Ecoports Foundation (2010), y constituye una nueva oportunidad de generar valor para clientes y accionistas.

Finalmente, al igual que ocurre con la seguridad y la protección, la creciente preocupación de la sociedad por la conservación del medio ambiente y por el Desarrollo Sostenible, sobre todo en los países miembros de la Unión Europea y Estados Unidos, está materializándose en políticas, legislación y acuerdos entre países que imponen nuevas restricciones a la hora de desplegar el negocio. Así, lo que hoy puede suponer una ventaja competitiva dentro de la Propuesta de Valor de una terminal, el día de mañana puede ser un requisito fundamental para la prestación del servicio, dejando fuera del mercado a aquellas TPCs que no hayan previsto con suficiente antelación la necesidad estratégica de incrementar la seguridad y protección de sus instalaciones o de reducir

su impacto ambiental, y únicamente las que se hayan adelantado al marco legal estarán en disposición de desarrollar su actividad en condiciones óptimas gracias al *know-how* adquirido durante su experiencia previa.

Por todo lo anterior, la contribución a la sostenibilidad ambiental es la tercera y última necesidad estratégica de las terminales portuarias de contenedores.



*Facilius per partes in cognitionem  
totius adducimur. (Es más fácil  
entender las partes que el conjunto).*

Seneca, filósofo, político y escritor





## La terminal portuaria de contenedores

### 3.1. La Terminal como Sistema. Subsistemas

Una terminal portuaria es un intercambiador modal que suele disponer de un área de almacenamiento en tierra para coordinar los diferentes ritmos de llegadas de la mercancía vía marítima y terrestre (Monfort *et al.*, 2001). Su Misión es la de proporcionar los medios y la organización necesarios para que el intercambio de dicha mercancía entre los modos terrestre y marítimo tenga lugar en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respeto al medio ambiente y economía.

Las terminales de contenedores tienen ciertas características que les confieren la facultad de alcanzar un grado de sistematización mucho mayor que el de terminales de otros tipos de mercancía (Monfort *et al.*, 2011a), tales como:

- La estandarización del elemento de transporte, el contenedor;
- La estandarización en la forma de manipulación de la mercancía;
- El altísimo nivel de intercambios que se realizan;
- La gran repercusión de la tecnología para la rentabilidad de la terminal.

Como consecuencia de lo anterior, la operativa en terminales de contenedores, respecto a la manipulación de otra mercancía general, tiene

costes de manipulación menores, disminuye los tiempos de carga y descarga, y por tanto la duración de la escala, mejorando la productividad del buque. Además reduce los riesgos de averías, hurtos y pérdidas de la carga.

Aunque existen contenedores de diferentes clases (cerrado, *flat rack*, jaula, media altura, *high cube*, *open top*, cisterna, *reefer*, plataforma, etc.) que pueden requerir ciertas atenciones especiales, generalmente la manipulación de todos ellos es muy similar.

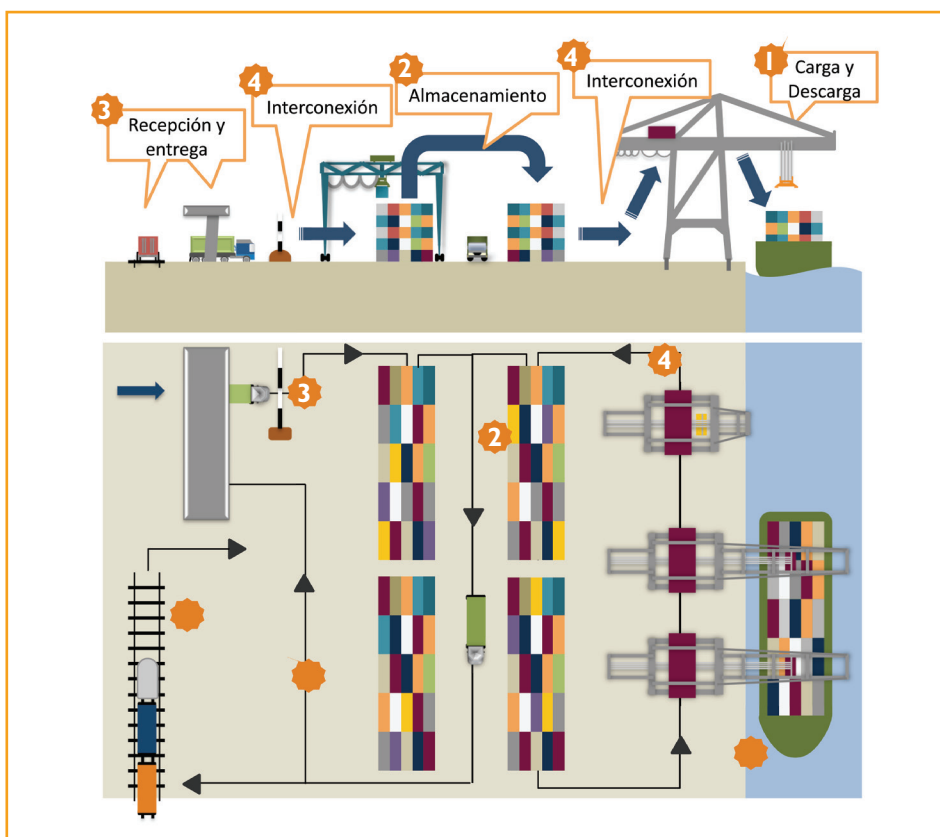
Según Monfort *et al.* (2001 y 2011a), una terminal portuaria también puede definirse como un sistema integrado, con conexión física y de información con las redes de transporte terrestres y marítimas. Para su análisis se considera que está compuesto por cuatro subsistemas, que en el caso de terminales de contenedores se definen como sigue:

1. El **subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque** es el encargado de resolver la interfaz marítima, con todos los aspectos de infraestructura y equipamiento que ello conlleva (muelle, medios de carga y descarga, etc.), y las relaciones que, con los agentes implicados, son precisas en esta fase.
2. El **subsistema de almacenamiento** normalmente ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal y su función es la de depósito temporal de los contenedores, permitiendo acompasar el ritmo y las prestaciones de los distintos medios de transporte. La disposición de este subsistema y su extensión condicionan y dependen del tiempo de estancia, del volumen de tráfico, del equipamiento principal y de la lógica operacional (sentidos de circulación, alturas operativas, zonificaciones, etc.) que se empleen.
3. El **subsistema de recepción y entrega** está integrado por las puertas terrestres, accesos y almacenamiento temporal para camión y ferrocarril, las instalaciones que se dispongan para facilitar la transmisión del alto volumen de información que se intercambia en esa zona, y por los espacios y equipos necesarios para realizar la operación.
4. El **subsistema de interconexión** es el que asegura el transporte de los contenedores entre los subsistemas anteriores. Más que estar ligado a un espacio físico concreto —como pudieran ser los viales internos—, este subsistema abarca la solución tecnológica adoptada en cada caso para los movimientos físicos y de información

que se precisan. En función de la tipología de la terminal y del equipo del subsistema de almacenamiento, se empleará una determinada maquinaria para cada uno de los movimientos y para el transporte interno de los contenedores.

La morfología de estos subsistemas varía dependiendo de la tipología de la terminal. La Figura 8 es un ejemplo de *layout* de una terminal portuaria de contenedores, con sus respectivos subsistemas.

Figura 8. Esquema de los subsistemas de una terminal de contenedores



Fuente: Monfort *et al.* (2011a)

Cada subsistema de la terminal cuenta con diferentes elementos relacionados entre sí:

- Infraestructura;
- Superestructura (equipos); y
- Sistema Operativo de la Terminal (SOT o TOS en inglés), que es el conjunto de equipos (*hardware*) y *software* que permiten el intercambio de información y la generación de órdenes necesarias para la explotación de la terminal.

Algunos equipos e infraestructuras son compartidos por más de un subsistema.

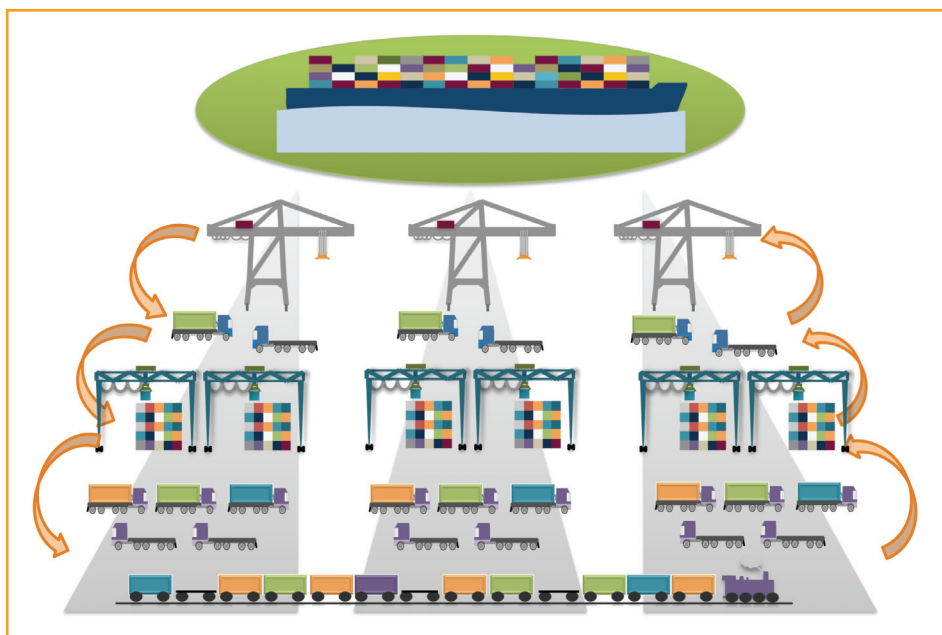
En una terminal portuaria se gestionan dos flujos inseparables: el flujo físico de la mercancía y el flujo de información externo e interno. Además existe un tercer flujo, el de responsabilidades, que acompaña a los dos anteriores.

Como se explica en el Capítulo 5, existen varias dimensiones para la clasificación de las innovaciones en TPCs. La primera de ellas es la que ordena las innovaciones atendiendo a qué subsistema corresponden. En esta clasificación existe una primera categoría en la que se incluyen las innovaciones que afectan a la totalidad de la terminal como sistema.

### **3.2. Integración de los subsistemas**

En una terminal de contenedores todos los equipos realizan ciclos de forma continua. Además esos ciclos interactúan unos con otros (Figura 9). En el dimensionamiento de la terminal hay que calcular el equipamiento necesario de cada tipo para que el funcionamiento sea óptimo buscando el equilibrio de intereses entre la productividad y los costes. En general se considera que el recurso limitante, el que marca el ritmo de los demás, es la grúa de muelle por ser el elemento más caro. La asignación del resto de equipos debe hacerse de modo que la grúa de muelle no tenga que esperar a que los equipos de interconexión evacúen o le suministren contenedores, pero sin sobredimensionar el número de estos vehículos ni el número de equipos de patio, para mantener los costes en un nivel aceptable. En países donde los costes laborales son muy elevados la productividad queda limitada por condicionantes económicos, pues mantener permanentemente ocupada la grúa de muelle puede ser inviable.

Figura 9. Integración de los ciclos de los equipos de una TPC



Fuente: Monfort *et al.* (2011b)

La función de la grúa de muelle es cargar y descargar contenedores del buque y de los camiones internos (o del equipo de interconexión muelle-patio que tenga la terminal). El ciclo de trabajo será continuo si hay suficientes equipos de interconexión para trasladar los contenedores descargados del buque al patio y llevar al muelle los que haya que cargar.

Por su parte, el ciclo de los equipos de interconexión (camiones, AGVs u otros) en el caso de la descarga del buque consiste, de modo general, en esperar en el muelle a que la grúa descargue un contenedor, trasladarlo al patio y ahí esperar a que la grúa de patio recoja el contenedor para colocarlo en la pila, y finalmente volver al muelle. Para la carga de contenedores, el equipo de interconexión espera en la pila a ser cargado, se dirige al muelle donde aguarda a que la grúa recoja el contenedor, y vuelve al patio para empezar de nuevo el ciclo. Los ciclos de estos equipos de interconexión están directamente enlazados por un lado con los de la grúa de muelle y por otro con los de la grúa de patio.

Equipos como los *straddle carriers* (SCs), en un ciclo de carga recogen el contenedor en pila, lo trasladan al muelle y lo depositan sin esperar a que la grúa los descargue, independizando hasta cierto punto los ciclos de interconexión y carga.

En algunos casos las operaciones de interconexión y apilado o desapilado se realizan de modo continuo y la relación entre subsistemas es todavía más evidente. Sirva de ejemplo una terminal que utiliza como equipo de patio *reachstackers* o el ya mencionado SC: en una operación de descarga, el mismo equipo que realiza la transferencia muelle-patio, apila el contenedor.

Finalmente, en las terminales que utilizan grúas pórtico como equipos de patio, la actividad de estas consiste en la carga o descarga de los contenedores de los equipos de interconexión y de los camiones externos, almacenar y realizar las labores de reorganización del patio encaminadas, fundamentalmente, a facilitar las próximas operativas de carga y descarga (*housekeeping*) y con ello acortar la duración de las escalas.

Con este funcionamiento, los ciclos de las grúas de muelle y patio están indirectamente relacionados porque si no hay equipos suficientes en patio, no se podrá atender con la velocidad requerida a los equipos de interconexión y por tanto la grúa de muelle tendrá que esperar.

Las terminales han intentado romper la dependencia directa tanto de las grúas de muelle como de las de patio, del funcionamiento de los equipos de interconexión, como ocurre si se utilizan SCs. A esto se le conoce como *decoupling* (desacoplar). Con un sistema de *decoupling*, las grúas de muelle y las de patio recogen y depositan los contenedores en el suelo, en una plataforma fija elevada, o en un *cassete*, sin esperar a que llegue el equipo de interconexión. El *decoupling* puede ser total o parcial, se puede plantear con equipos manuales o automáticos, y puede necesitar el apoyo de equipos intermedios como se amplía en el apartado 10.2.1.2.

La integración de los ciclos de los diferentes equipos, a lo que hay que añadir el resto de operaciones de la terminal, por ejemplo la gestión de atraques, la contratación de mano de obra, el acceso terrestre (documental y físico), la inspección de documentación y mercancía por los organismos competentes, etc., es la causa de que un problema localizado en una actividad de un subsistema pueda transmitirse y afectar de modo más general al correcto funcionamiento de la terminal, como se verá en el Capítulo 4.

### 3.3. Tipología de TPCs

La estandarización del contenedor como elemento de transporte ha ido acompañada de la especialización y crecimiento del tamaño de los buques, esto último motivado por el objetivo de las navieras de aprovechar las economías de escala. Por esa razón, los medios de manipulación han experimentado una especialización similar para poder atender cada vez mayores volúmenes de tráfico del modo más rápido y eficiente posible.

Las terminales de contenedores pueden utilizar distintos tipos de grúa para las operaciones de carga y descarga de buques, como grúas pórtico o grúas móviles. Las primeras han sido especialmente diseñadas para manipular contenedores, mientras que las segundas son polivalentes. En algunos casos donde no hay grúas de muelle solo pueden atenderse buques que tengan grúas propias.

El resto de operaciones de la terminal, su rendimiento y capacidad así como la configuración de su explanada de almacenamiento o patio (área total, anchura y altura de las pilas de contenedores, separación entre las mismas, los viales y pasillos internos, etc.), incluso los equipos empleados en otros subsistemas, están condicionados por el equipo de almacenamiento elegido. Por ello, el elemento caracterizador de la tipología de TPCs es el equipo que se emplea para el almacenamiento, de lo que resulta la siguiente clasificación, ordenada de menor a mayor densidad superficial de contenedores en el patio:

- Plataformas o chasis;
- Carretillas;
- *Reachstackers* (RSs);
- *Straddle carriers* (SCs);
- RTGs;
- RMGs; y
- Grúas de patio automáticas.

La descripción que sigue se ha elaborado a partir de las monografías de “La Terminal Portuaria de Contenedores como sistema nodal en la cadena logística” (Monfort et al., 2011a) y “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores” (Monfort et al., 2011b).

### **3.3.1. Terminales de chasis o plataformas**

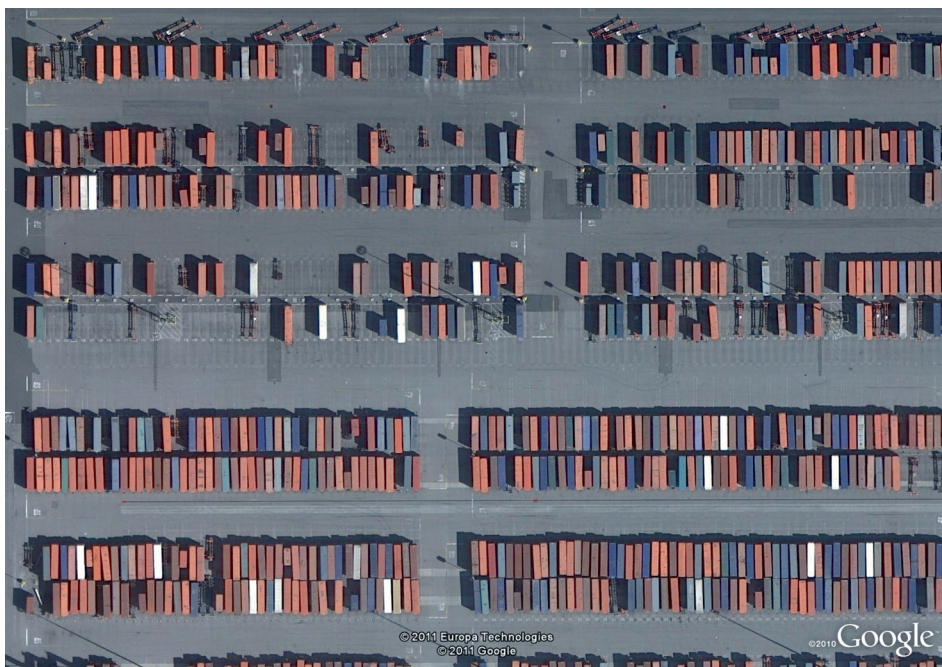
La génesis de esta tipología de terminales está ligada a los propios orígenes del contenedor como sistema de unitización de carga. Una de las ventajas que supuso la contenedorización fue la facilitación del transporte intermodal: tras una primera etapa en la que el camión completo cargado se embarcaba y desembarcaba en la cubierta de buques de mercancía general con grúas convencionales, el siguiente paso fue el de la especialización de los sistemas de manipulación, sobre todo de las grúas de muelle, y la estandarización del transporte terrestre y marítimo, por ejemplo en lo referido a dimensiones de la carga y pesos máximos autorizados, para evitar el traslado de cabezas tractoras y plataformas en los buques, que entonces pasaron a transportar solo los contenedores. Como alternativa aparecieron los buques *roll-on roll-off* (ro-ro), que transportan plataformas cargadas, con o sin cabezas tractoras, y que no necesitan grúas de muelle para la carga y descarga.

En su momento, el uso de plataformas como sistema de almacenamiento facilitaba la intermodalidad, simplificando la secuencia de modos terrestre y marítimo y el almacenamiento en la terminal.

En las terminales de chasis o plataformas una operación de desembarque se desarrolla de modo que las grúas de muelle descargan los contenedores directamente desde el buque sobre las plataformas remolcadas por las cabezas tractoras. Después de dejar la plataforma cargada en el patio (Figura 10), las cabezas tractoras se dirigen a la zona de estacionamiento de plataformas vacías, enganchan una y la trasladan a pie de grúa cerrando el ciclo.



Figura 10. California United Terminal (Port of Long Beach – EE.UU.)



Fuente: © 2011 Europa Technologies. ©2011 Google

El almacenamiento sobre chasis consume mucho espacio por varios motivos: en primer lugar porque no se apila en altura, en segundo lugar porque se necesitan viales anchos que permitan realizar la maniobra de aparcar la plataforma cargada y en tercer lugar porque hace falta una zona de almacenamiento de plataformas vacías. Por todo ello la capacidad del patio de la terminal es muy reducida. Por otra parte, pese a que el grado de tecnificación requerido es bajo, la inmovilización de las plataformas en patio incrementa considerablemente el coste de esta solución.

Tradicionalmente este sistema se ha utilizado en puertos con mucho espacio o donde el coste del suelo era bajo. En la actualidad, debido a los inconvenientes anteriores y pese a que era el equipo de patio más empleado en las terminales de Estados Unidos, está perdiendo cuota frente a otros sistemas.

Para reducir el espacio requerido para el almacenamiento de plataformas vacías, se puede utilizar la solución que han ideado en Virginia International Terminals (VIT), que en realidad no es una terminal de plataformas, sino de *straddle carriers*, pero tiene plataformas propias para distintas operaciones logísticas tanto internas como externas. En esta terminal, han creado un conjunto de estructuras metálicas (*racks*) que permite almacenar hasta 8 plataformas en posición vertical prácticamente en el espacio que ocupa una en posición horizontal (Figura 11). Para almacenar dichas plataformas en los *racks* se utiliza una carretilla frontal adaptada con un pantógrafo especial que levanta y gira las plataformas desde el suelo a su posición vertical.

Figura 11. Virginia International Terminals – VIT (Port of Virginia – EE.UU.)



Fuente: Fundación Valenciaport

En cualquier caso, el conjunto de chasis más cabeza tractora es utilizado en otras muchas terminales como equipo de interconexión entre patio y muelle (como en las de RTGs).

### 3.3.2. Terminales de carretillas

Las carretillas son equipos capaces de trasladar y elevar los contenedores permitiendo su apilamiento. Se desplazan sobre neumáticos dispuestos en dos ejes, con uno o varios motores de combustión. En una terminal de carretillas todos los movimientos son realizados por estos equipos: traslados entre muelle y patio, atención a medios terrestres (camiones y ferrocarril) y gestión del patio.

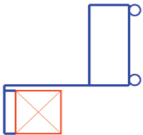
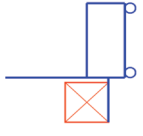
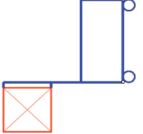
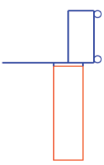
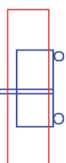






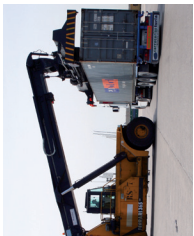
Existen varios tipos de carretillas que pueden ser empleados en una TPC (Tabla 3): los *forklifts* y su evolución a carretillas elevadoras con *spreaders* o *semi-spreaders*, los *reachstackers* e incluso los *straddle carriers*, que algunos autores consideran que son un tipo especial de carretilla pórtico. Tanto *reachstackers* como *straddle carriers* dan como resultado disposiciones de terminal, densidades de apilado y operativas diferentes a las de las carretillas básicas, por eso se considera necesario tratarlos de modo independiente en los siguientes apartados 3.3.3 y 3.3.4 respectivamente.

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 la parte superior) o tipo *forklift* (si sujetan el contenedor por debajo con horquillas). Algunas carretillas no pueden utilizarse con contenedores llenos por problemas de estabilidad de la máquina (como la frontal con enganche frontal) o porque el sistema de enganche puede dañar la estructura del contenedor (como algunas carretillas *forklift*).

En una operación de descarga de un buque en una terminal de carretillas la grúa de muelle deposita los contenedores sobre el muelle y las carretillas los trasladan al patio donde los apilan. La operación de carga se realiza de forma inversa.

Los distintos tipos de carretillas elevadoras existentes configuran disposiciones de patio diferentes ya que con cada una resulta un tamaño de pila y de pasillo. En cualquier caso, estos equipos dan como resultado intensidades de uso del suelo muy bajas porque las pilas de contenedores llenos son estrechas, de poca altura y deben estar bastante

Tabla 3. Tipologías de carretillas

ELEVADORA CON SPREADER	FORKLIFT	FRONTAL DE ENGANCHE LATERAL Y SEMISPREADER	FRONTAL CON ENGANCHE FRONTAL	SIDELOADER	REACHSTACKER
					
					
Fuente: Svertruck AB	Fuente: Konecranes Ausio S.L.U.	Fuente: Fundación Valenciaport	Fuente: Fundación Valenciaport	Fuente: Fantuzzi Noell Iberia S.L.U.	Fuente: Fundación Valenciaport

Fuente: Monfort et al. (2011a)

separadas (sobre todo para carretillas de carga frontal), con apilado a dos o tres alturas y normalmente dos de ancho para que todos los contenedores sean accesibles.

Además las carretillas también se pueden utilizar como equipo auxiliar para operaciones con contenedores vacíos sea cual sea el sistema principal de patio que tenga la terminal. La altura de apilado de contenedores vacíos puede llegar a 9 cajas aunque lo normal es trabajar con un máximo de 5 a 7 alturas. En este caso las pilas pueden tener una anchura superior a 2 contenedores porque la accesibilidad no es tan relevante. El apilado a gran altura tiene varios problemas como, la estabilidad de las pilas, la seguridad de la operación y la mala visibilidad del operador. En estos casos se recurre a techos transparentes y a colocar la cabina del conductor en la parte trasera de la máquina en posición elevada e inclinada.

En general, solo algunas terminales pequeñas y con poco tráfico utilizan carretillas como equipo principal de patio. Las terminales prefieren utilizar otras máquinas con mayor estabilidad, capacidad y alcance tanto para el almacenamiento en patio como para recepción y entrega, labores de apoyo, etc.



### 3.3.3. Terminales de *reachstackers*

El *reachstacker* es una evolución de las carretillas elevadoras, con una pluma telescópica inclinada de la que se sujeta el *spreader* (ver Figura 12), lo que permite alcanzar contenedores situados en la segunda fila de la pila siempre y cuando se encuentren al menos a una altura por encima de los de la primera. En el caso de contenedores vacíos pueden alcanzar contenedores hasta en la tercera fila si se encuentran al menos a una altura por encima de las cajas de la primera y segunda filas.

Figura 12. *Reachstacker* en TCV Stevedoring Company (Puerto de Valencia – España)



Fuente: Fundación Valenciaport

Las características de un *reachstacker* dependerán del uso que vaya a tener. Así, los equipos para la manipulación de contenedores vacíos permiten el apilado a mayores alturas que los dedicados a almacenar contenedores llenos, mientras que estos últimos tienen mayor capacidad de izado.

En las terminales de *reachstackers* todos los movimientos (en patio, de interconexión y los de recepción y entrega) son realizados por estos equipos. Suele tratarse de terminales con poco tráfico. Muy frecuentemente se utilizan como sistema auxiliar en otras terminales para operaciones como transporte interno, almacenamiento de vacíos o la recepción y entrega de camiones y ferrocarril.

Las pilas de contenedores llenos en terminales de *reachstackers* tienen habitualmente 3 o 4 contenedores de anchura (Figura 13). Pese a duplicar la anchura del bloque respecto a las terminales de carretillas, la capacidad de almacenamiento de la terminal sigue siendo bastante reducida debido a que se necesita mucho espacio para viales.

Figura 13. Terminal P. Castellón (Puerto de Castellón – España)



Fuente: © 2011 Tele Atlas. Google Earth

### 3.3.4. Terminales de *straddle carriers*

Los *straddle carriers* (SCs) 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 14). Como en los sistemas anteriores, la doble función de translación y elevación del contenedor permite el transporte horizontal, el apilado y la realización de operaciones de recepción y entrega en camiones. En el caso de que la terminal tenga tráfico ferroviario, para atenderlo se suele recurrir a equipos auxiliares como *reachstackers* u otro tipo de carretilla.

Figura 14. SC en Norfolk International Terminals (Port of Virginia – EE.UU.)



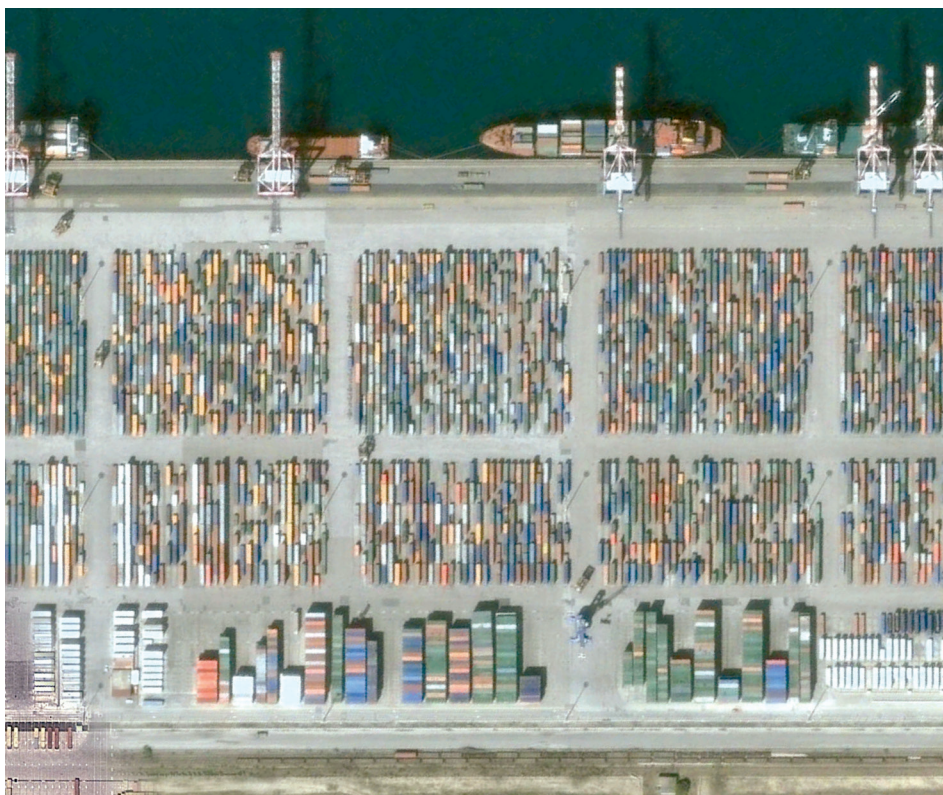
Fuente: Fundación Valenciaport

La operación de descarga del buque tiene la misma secuencia que con los equipos anteriores: la grúa portacontenedores deposita el contenedor en el muelle y un *straddle carrier* lo recoge y lo lleva a la pila. La recepción y entrega terrestres se realizan en una zona de la terminal donde llegan los camiones externos. Los SCs cargan y descargan los contenedores de los camiones y también realizan la transferencia entre el patio y la zona de recepción y entrega.



En general, aunque las pilas formadas por SCs pueden alcanzar alturas de hasta 4 contenedores (3+1), la altura media de pila 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 (Figura 15). Entre los bloques se deja un pasillo de 1,5 metros para las patas de los *straddle carriers*. Normalmente las pilas se disponen perpendiculares al muelle, lo que permite mayores rendimientos y mejor aprovechamiento del espacio aunque conlleva mayor riesgo de colisión entre vehículos. Por ello, algunas terminales han optado por colocar sus hileras de contenedores paralelas al muelle generando un flujo circular que evita el cruce de trayectorias si bien exige a las carretillas recorridos más largos.

Figura 15. Medcenter Container Terminal (Gioia Tauro – Italia)



Fuente: Image © GeoEye. Image © Digital Globe

Las principales ventajas del *straddle carrier* frente al resto de sistemas de patio son su flexibilidad operativa, su velocidad, y el *decoupling*, mientras que sus mayores inconvenientes son la limitación de altura de apilado y el mayor coste del mantenimiento.

El sistema de SCs aprovecha mejor el espacio, con mayor densidad de apilado que las plataformas, las carretillas o los *reachstackers*. Además los contenedores están muy accesibles y se hacen pocas remociones. Debido a sus dimensiones, el SC es más estable y maniobrable que otras carretillas. Pese a estas ventajas, en algunos puertos del Norte de Europa, usuarios tradicionales de este sistema, están optando por pórticos (automatizados o no) tanto para las nuevas terminales como para aumentar la capacidad de almacenamiento en las existentes.

### **3.3.5. Terminales de RTGs**

Los equipos *Rubber Tyred Gantry crane* (RTGs) o grúas pórtico sobre neumáticos son grúas autopropulsadas por un motor de explosión que se desplazan siguiendo trayectorias rectilíneas sobre las pilas de contenedores que ellas mismas van formando entre sus patas (Figura 16). También son capaces de trasladarse a otros bloques de contenedores gracias a los sistemas de giro de las ruedas. Estos giros se realizan sobre superficies especiales que evitan el desgaste de los neumáticos y del pavimento.

Figura 16. RTG en MSC Terminal Valencia (Puerto de Valencia – España)

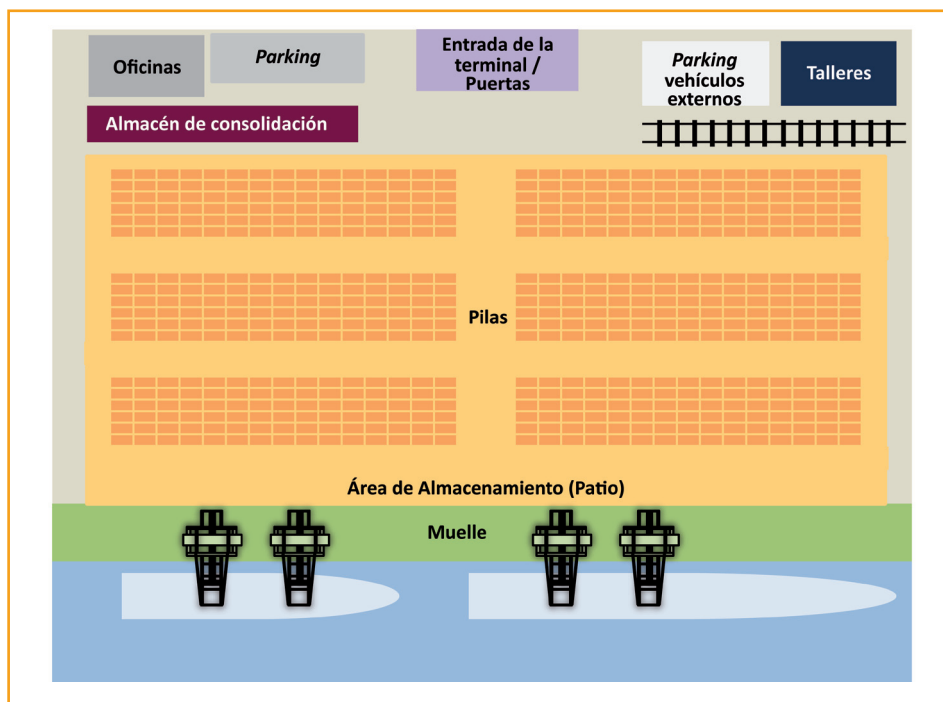


Fuente: Fundación Valenciaport

Las terminales que utilizan RTGs como sistema de almacenamiento, suelen apoyarse en el sistema tractor y plataforma para hacer la transferencia de contenedores entre muelle y patio. Los pórticos atienden la recepción y entrega de camiones externos. Para el ferrocarril necesitan equipos auxiliares como carretillas o *reachstackers*.

La Figura 17 muestra un ejemplo de *layout* de una terminal de contenedores que utiliza RTGs como equipo de patio con sus respectivas infraestructuras e instalaciones.

Figura 17. Ejemplo de *layout* de una terminal de contenedores



Fuente: Monfort *et al.* (2011b)

Analizando el patio de una terminal de *Rubber Tyred Gantry cranes*, las pilas formadas por este tipo de equipos suelen disponerse paralelas al cantil y separadas una anchura suficiente que permita el tráfico de los vehículos de interconexión. Cada cierta longitud los bloques de contenedores se interrumpen para intercalar viales de circulación que posibilitan el tráfico perpendicular al muelle (Figura 18).

Las dimensiones de las pilas son función del equipo utilizado, cuestión en la que se observan preferencias según la zona geográfica en la que se encuentra ubicado el puerto. Las terminales europeas de RTGs suelen apilar a un máximo de 3 o 4 alturas con una anchura de bloque de 6 contenedores más un carril adicional para la carga y descarga sobre camiones o plataformas internas. Pese a que este es el tamaño habitual, en puertos



de Asia las dimensiones pueden ser mucho mayores con alturas de 1 sobre 7 y anchos de hasta 13+1 contenedores, dando como resultado densidades de patio mucho más altas, similares a las que se obtienen al utilizar RMGs.

Figura 18. Terminal de RTGs (Puerto de Santos – Brasil)



Fuente: © 2010 Google. © 2011 Inav/GeosistemasSRL. © 2011 MapLink/Tele Atlas

Los principales competidores de los equipos RTGs son los SCs ya que ambos tienen prestaciones que pueden ofrecer buen resultado en terminales con superficie de patio grande, que no tengan planificada su automatización. Desde el punto de vista económico, en función de la distancia recorrida en la terminal, existe un rango entre los 250 y los 500

metros de recorrido medio entre el patio y el muelle en que los costes de los dos sistemas pueden considerarse similares. Por encima de los 500 metros suele ser más económico el uso de RTGs, mientras que por debajo de 250 metros es más conveniente el SC. En cualquier caso, si el coste de la mano de obra aumenta, se amplía el intervalo donde es más ventajoso el *straddle carrier* ya que este, en comparación, necesita menos manipuladores.

### 3.3.6. Terminales de RMGs

El *Rail Mounted Gantry crane* (RMG) es una grúa pórtico similar al RTG pero que se desplaza sobre raíles. Generalmente tiene dimensiones superiores a las de los pórticos sobre neumáticos. Este sistema, además de en puertos, se utiliza en muchas terminales interiores (puertos secos) y en terminales ferroviarias.

La estructura de los RMGs depende del *layout* de la terminal y de la configuración de la operativa: tradicionalmente se trataba de pórticos con *cantilever*, un voladizo que permitía atender a vehículos externos e internos en el costado exterior de las patas del pórtico (Figura 19) aunque también había estructuras con el vial interior a las patas, como ocurre en los RTGs. En ambos casos, las pilas se disponían paralelas al muelle.

En la actualidad, las pilas se disponen perpendiculares al muelle y la operativa se diseña de modo que los vehículos de interconexión se atienden en el extremo de pila más cercano al cantil y los camiones externos en el otro extremo, que suele estar situado más cerca de la puerta de la terminal. Esta disposición impide el cruce de las trayectorias de los camiones externos con los vehículos internos y los pórticos. Este *layout*, además de incrementar la seguridad al separar dichos flujos de vehículos, reduce la distancia a recorrer por los distintos medios de transporte.

Por lo que al tamaño de pila se refiere, el ancho de las pilas formadas por RMGs puede alcanzar hasta 20 contenedores, aunque lo más habitual es anchura de 6 u 8, con o sin *cantilever*. Respecto a su capacidad vertical de apilamiento, estos equipos pueden llegar a apilar a una altura de 8+1 aunque son más frecuentes los equipos de 4+1 o 5+1 contenedores de altura (Figura 19).

Figura 19. RMGs en Hanjin Terminal (Puerto de Busan – Corea del Sur)



Fuente: Hanjin Newport Con. (HJNC)

Al igual que ocurre con los pórticos sobre neumáticos, los RMGs se encargan de la gestión del patio y de la recepción y entrega de camiones. Adicionalmente en muchos casos también realizan la recepción y entrega del ferrocarril. En el caso general, necesitan del apoyo de tractores y plataformas o de otro equipo de interconexión para las transferencias entre muelle y patio. En una operación de descarga de buque, la grúa de muelle descarga el contenedor sobre una plataforma, que se desplaza a la pila de patio. Allí, el RMG descarga y posiciona el contenedor en el bloque.

Entre las principales ventajas de los RMGs se encuentran el aprovechamiento de la superficie de patio debido al tamaño de pilas y que es el sistema más sencillo de automatizar porque al circular los pórticos sobre raíles tienen menos grados de libertad y por tanto no necesitan sistemas de direccionamiento automático.

Sin embargo, el sistema de guiado sobre raíles también tiene algunos inconvenientes. Entre las desventajas de los RMGs se encuentran su peso, consecuencia de su tamaño, mucho mayor al del resto de equipos, lo que exige mayor resistencia de las cimentaciones; y la poca flexibilidad, resultando muy complejo tanto a nivel técnico como económico modificar la disposición de la terminal una vez puesta en servicio. La operativa también tiene dificultades: si hay dos pórticos o más en una misma pila y son del mismo tamaño, no pueden cruzarse, lo que dificulta las operaciones cuando hay recepción y entrega de camiones simultáneas a carga y descarga de buques, o cuando uno de ellos se avería. Un inconveniente adicional es que la mayor altura de apilado supone un mayor número de remociones y por lo tanto un descenso de la productividad neta, además de los problemas que pueden surgir para realizarlas si la ocupación del patio es muy alta.

### **3.3.7. Terminales de pórticos automáticos**

En terminales donde se han implantado soluciones de automatización del almacenamiento se utilizan pórticos automáticos sobre raíles llamados *Automatic Stacking Cranes* (ASCs) o RMGs automatizados.

Estos equipos funcionan sin manipulador en la propia máquina. Tienen dimensiones similares a un RTG: entre 6 y 10 contenedores de anchura y 4 o 5 más uno de altura (Figura 20).



Figura 20. RMGs automáticos (ASCs). APM Terminals Virginia (Port of Virginia – EE.UU.)



Fuente: Konecranes Ausio S.L.U.

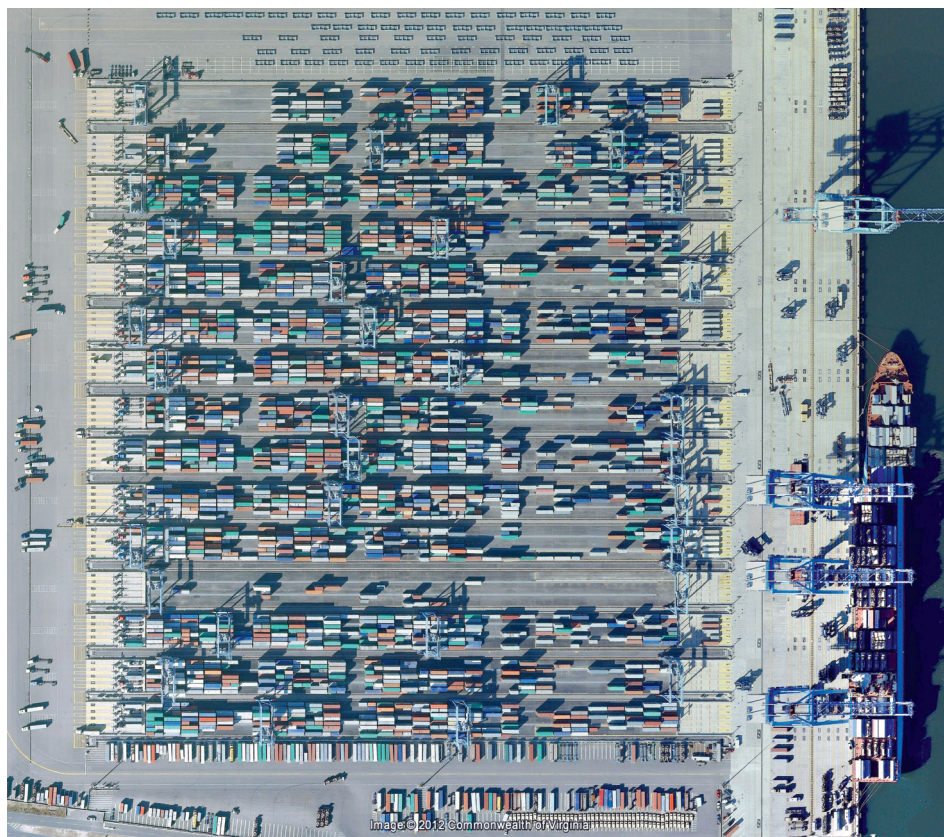
Cuando se trabaja con ASCs se puede automatizar la transferencia entre muelle y patio. Para esto, las terminales suelen utilizar AGVs (*Automated Guided Vehicles*) aunque se están probando otros sistemas como *straddle carriers* automáticos. También es posible optar por la interconexión muelle-patio de modo manual con equipos como cabezas tractoras más plataformas o SCs tradicionales (ver apartado 10.1).

En cualquier caso, la recepción y entrega de camiones terrestres se hacen de modo semiautomático: el camión se coloca en la cabecera de la pila, en una zona separada del patio por una valla. Una vez en posición, el conductor pulsa un botón que está en un poste y se queda fuera de la cabina. El ASC realiza la operación de modo automático, salvo los últimos metros, que los supervisa por control remoto un operador desde una torre utilizando las cámaras disponibles para ello.

Como ejemplo, en APM Terminals Virgina conviven el almacenamiento en plataforma, en general para reefers, con los pórticos automáticos ASCs (Figura 21). La transferencia entre muelle y patio se realiza con *straddle carriers* manuales de altura 1+1, llamados *shuttle carriers*.

El ferrocarril se atiende en una playa de vías, con pórticos no automatizados si hay suficiente tráfico, y *reachstackers* que transfieren los contenedores entre el ferrocarril y el sistema de cabezas tractoras con plataformas más *cassetes* para desacoplar la interconexión ferrocarril-patio del funcionamiento de los pórticos automáticos.

Figura 21. APM Terminals Virginia (Port of Virginia – EE.UU.)



Fuente: © 2010 Google

Un sistema marginal de grúas pórtico automáticas es el desarrollado en el Puerto de Singapur, el *OverHead Bridge Crane* (OHBC). Conceptualmente es similar a los puentes grúa utilizados en naves industriales. Consiste en varias hileras de pilares de hormigón sobre los que se sitúan las vigas carrileras con raíles que permiten el traslado de la viga transversal a lo largo de los pórticos, y que sujeta el *spreader*. El funcionamiento del sistema es completamente automático.

La ventaja principal del OHBC es que permite trabajar con pilas de dimensiones mucho mayores que el resto de equipos dando lugar a densidades de apilado muy elevadas. Además la configuración rígida de la estructura simplifica mucho su automatización. Sin embargo, este sistema requiere mayores inversiones en obra civil, debido por una parte a la construcción de la infraestructura en sí, y por otra a la necesidad de disponer una cimentación mejor a la de otros sistemas tanto por el peso de las pilas como por el de la propia estructura aporticada. Otros inconvenientes son la dificultad en la gestión del patio (el apilado a gran altura obliga a realizar muchas remociones), y que para que el OHBC funcione correctamente, la transferencia de contenedores entre el muelle y el patio debe ser automática. Finalmente para el apilado hay que considerar la resistencia de los contenedores debido a la sobrecarga que sufren los de las posiciones inferiores si soportan el peso de 7 u 8 contenedores llenos.

Este sistema se implantó a mediados de los años 90 en la terminal Pasir Panjan Terminal, de PSA, en el puerto de Singapur. Ninguna otra terminal del mundo (ni siquiera otras del grupo PSA) se ha decantado por su uso.

### 3.4. Comparación de tipologías

La Tabla 4 presenta un resumen comparativo de las características de los equipos de patio de las diferentes tipologías de terminales de contenedores.

Tabla 4. Caracterización cualitativa de la terminal según tipología de equipamiento de patio empleada

	Plataformas	Carretillas	Reachstackers	Straddle Carriers	RTGs	RMGs
Altura de apilado	1	3 (llenos) 6-9 (vacíos)	3 6 (vacíos)	2-3	3-5	4-5
Anchura de pila	np	4 (llenos) Vacíos en bloque	4	1	6	8-12
Densidad superficial	Muy baja	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Requisitos de pavimentación	Muy bajos	Muy bajos	Muy bajos	Medios	Altos	Muy altos (raíles)
Coste de adquisición	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto	Muy alto
Coste de mantenimiento	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
Años vida útil	5	6-7	8-10	7-8	10	20
Posibilidad de automatización	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Baja	Alta	Muy alta
Costes de personal	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	Muy baja
Capacitación del personal	Baja	Baja	Medio	Alta	Alta	Baja
Integridad de contenedores	Alta	Baja	Baja	Baja	Media	Alta
Flexibilidad de operaciones	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Baja
Facilidad de ampliación	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Baja
Facilidad cambio de layout	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Muy baja
Eficiencia energética	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Alta
						

Fuente: Adaptado de Monfort et al. (2011b)

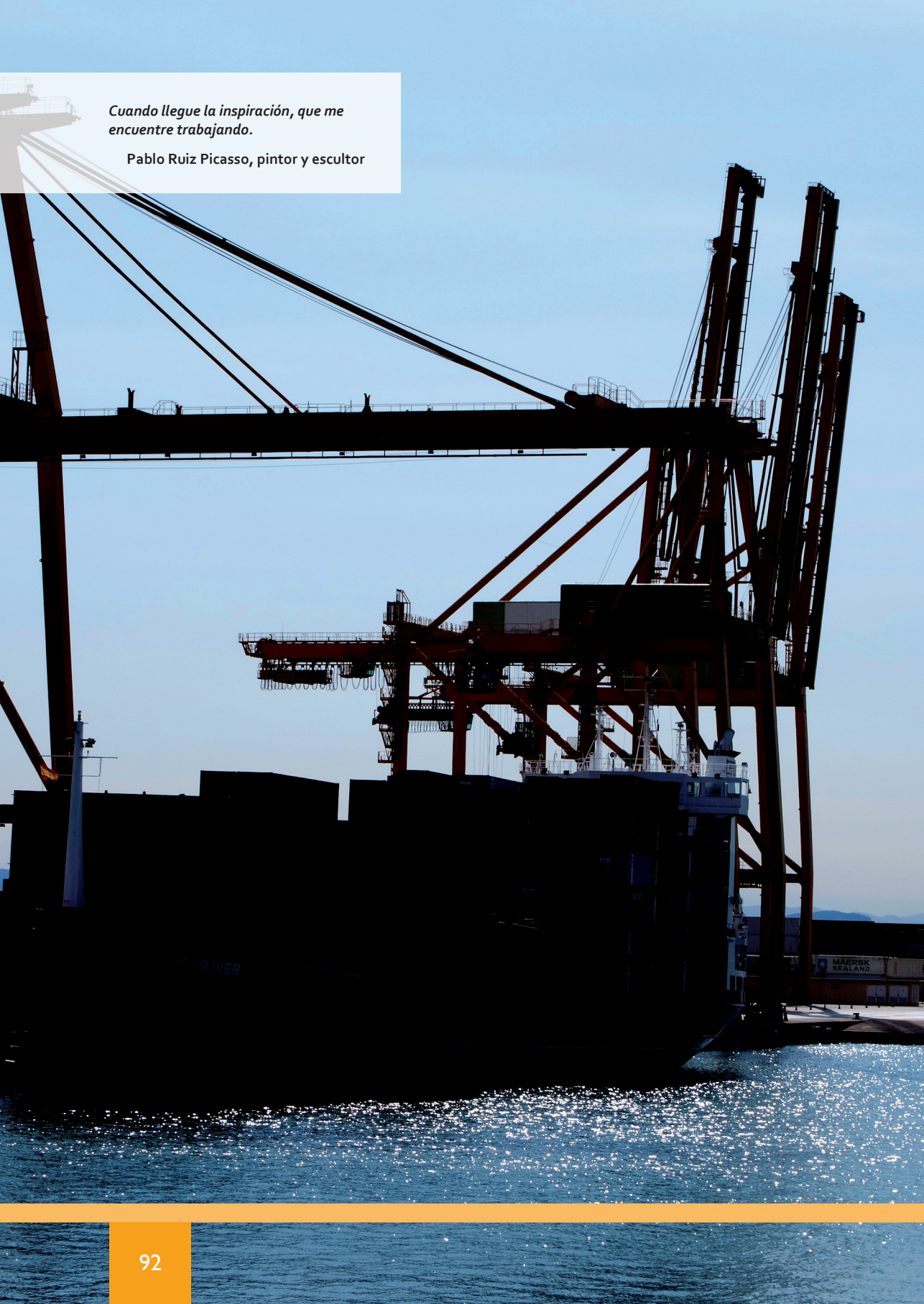
Por su parte, la Tabla 5 especifica la densidad superficial, la altura media de apilado y la capacidad estática de la terminal según el tipo de equipo de almacenamiento utilizado.

Tabla 5. Densidad superficial, altura operativa media de apilado y capacidad estática de las terminales de contenedores según el tipo de equipo de almacenamiento

Equipo (anchura; altura nominal de apilado)	Densidad Superficial (Huellas_ TEU/ha)	Altura Operativa Media (h)	Densidad del Sistema o Capacidad Estática (TEUs/ha)
Plataforma (chasis)	150 – 250	1,00	150 – 250
Carretilla (-; 3)	130 – 190	1,80	235 – 345
<i>Reachstacker</i> (-; 3)	200 – 260	1,80	360 – 470
SC (-; 3+1)	265 – 290	1,80	480 – 525
RTG (6; 4+1)	260 – 300	2,40	625 – 720
RTG (7; 5+1)	290 – 310	2,75	800 – 855
RTG (8; 5+1)	300 – 350	2,75	825 – 965
RMG (9; 4+1)	340 – 430	2,80	955 – 1.205

Fuente: Monfort *et al.* (2011b)





*Cuando llegue la inspiración, que me encuentre trabajando.*

Pablo Ruiz Picasso, pintor y escultor

## Decisiones operacionales en TPCs

### 4.1. Introducción

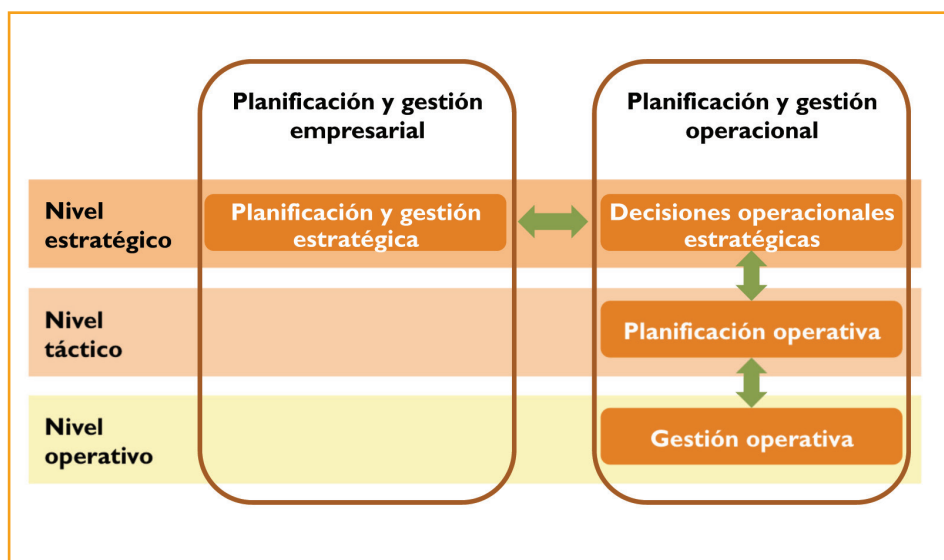
En este capítulo se describen y clasifican las decisiones que deben tomarse en las terminales de contenedores en diferentes horizontes temporales y se vinculan al proceso de Planificación Estratégica aportando una ordenación conceptual.

La planificación y gestión en la TPC tiene dos facetas diferenciadas aunque evidentemente relacionadas, la empresarial, común a cualquier negocio, y la operacional, específica de la actividad, en este caso de las terminales portuarias. Cuestiones como emprender o no el negocio, el proceso de Planificación Estratégica descrito en el Capítulo 2, la configuración del organigrama, la política de recursos humanos, la gestión de pagos y cobros, etc., se desarrollan en el ámbito empresarial. En este capítulo se analizan las decisiones operacionales, que son las que repercuten en la actividad inherente a las TPCs.

Con el propósito de aclarar la terminología utilizada se realiza la clasificación representada en la Figura 22. El proceso de Planificación Estratégica descrito en el Capítulo 2 se desarrolla en el nivel estratégico del plano empresarial. En el proceso de definición de la estrategia se

toman decisiones que afectan a los aspectos operacionales de todos los niveles. Por otra parte, el plano operacional retroalimenta la gestión estratégica pues se refiere a recursos y procesos (las perspectivas palanca del CMI) y por tanto deben existir mecanismos de control y seguimiento de sus resultados desde el nivel estratégico empresarial y, en su caso, de ajuste de la Propuesta de Valor.

Figura 22. Planificación y gestión en TPCs



Fuente: Fundación Valenciaport



## 4.2. Clasificación de decisiones operacionales en TPCs

### 4.2.1. Clasificación según el horizonte de planificación y gestión

En la literatura técnica sobre planificación en terminales portuarias de contenedores puede observarse el interés por clasificar las decisiones operacionales que deben tomarse o los problemas a los que se enfrenta la terminal durante su actividad.

Las primeras clasificaciones atendían únicamente al horizonte temporal en el que se desarrolla la decisión. Así, Meersmans y Dekker (2001) y Günther y Kim (2005) plantearon que las decisiones referidas al equipamiento y a la planificación del trabajo se podían clasificar en tres categorías en función del nivel de decisión o del horizonte temporal respectivamente, que resultan ser equivalentes. La propuesta de Henesey (2006) también tiene un primer criterio de clasificación que es el marco temporal. Finalmente Lehmann (2006) propuso una clasificación en solo dos categorías, de modo que la primera agrupa las dos superiores de los otros autores y la otra coincide con la tercera de los demás. Se observa que hay gran consenso en diferenciar niveles u horizontes temporales de decisión y las cuestiones de las que se ocupa cada uno, aunque los autores difieren en el nombre de las categorías (Tabla 6).

Tabla 6. Revisión bibliográfica del criterio de clasificación de decisiones operacionales en función del horizonte de planificación

Meersmans y Dekker (2001)	Günther y Kim (2005)	Henesey (2006)	Lehmann (2006)
NIVEL DE DECISIÓN	PROBLEMAS	MARCO TEMPORAL	PROBLEMAS
Nivel estratégico	De diseño	Estratégico	De diseño
Nivel táctico	De planificación de operaciones	Táctico	
Nivel operacional	De control en tiempo real	Operativo	Logísticos

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de fuentes citadas

Como se adelantaba en la Figura 22, atendiendo a su horizonte de planificación y gestión, y considerando las propuestas revisadas en el apartado anterior, las decisiones operacionales se clasifican en tres niveles:

- **Nivel estratégico**, en el que se sitúan las medidas que conciernen a la localización y la configuración del *layout* de una nueva terminal, así como a las decisiones referentes a los tipos y el número de equipamiento a adquirir. El grado de automatización de la TPC y el sistema operativo (TOS) también se deciden en este plano. Las decisiones correspondientes a este nivel normalmente son medidas a largo plazo que afectan de modo esencial a la terminal y suelen ser muy costosas en tiempo y dinero. En general, las decisiones de nivel estratégico se toman una única vez. Unas decisiones estratégicas deben tomarse para la puesta en marcha de la terminal, mientras que otras pueden adoptarse cuando la terminal está en funcionamiento (por ejemplo un cambio de TOS). Su implantación requiere una evaluación rigurosa que, en el caso de que la terminal no sea nueva, adicionalmente valore cómo afecta la medida al funcionamiento de la terminal, es decir, se deberá analizar qué ocurre durante la puesta en marcha de la medida hasta que esté completamente operativa.
- En el **nivel táctico** se decide sobre el uso del espacio de la terminal (zonificación), y se definen unas normas generales de asignación de recursos a las tareas, así como el trazado de los recorridos de los equipos de transporte horizontal. Estas decisiones suelen estar vigentes durante varios meses o, como mínimo, semanas y constituyen los criterios generales de funcionamiento. En este nivel se realiza la planificación de la operativa con la información previa que mandan otros agentes de la cadena logístico-portuaria.
- El **nivel operativo** comprende la gestión operativa, es decir la asignación de órdenes de trabajo para cada recurso concreto (equipos y mano de obra) y se generan los planes de trabajo específicos de cada uno. Algunas decisiones deben tomarse al inicio de las operaciones y otras mientras se ejecutan los procesos, en general en segundos, considerando el estado real de la TPC en ese momento.

Estos tres niveles de planificación y gestión se estudian por separado aunque, evidentemente, las decisiones tomadas en los niveles superiores influyen sobre los niveles inferiores y los problemas de los niveles inferiores pueden modificar medidas de rango superior.

### 4.2.2. Clasificación por subsistemas

En la bibliografía revisada, los autores utilizan un segundo criterio de clasificación atendiendo al equipamiento, función o tipo de operación en sentido amplio al que se refieren las decisiones que se toman. Así Lehmann (2006) habla de operativa afectada y las ordena en *seaside* (atraque y carga y descarga de buques), almacenamiento y *landside* (puertas terrestres y ferrocarril). Por su parte, Kim y Günter (2007) proponen una clasificación en función del equipamiento: *hinterland*, equipo de interconexión, pilas de patio, grúas de patio, grúas de muelle, atraques y buques.

En esta monografía, y siguiendo a Henesey (2006), se utiliza como segundo criterio de clasificación para las decisiones el subsistema afectado. Los subsistemas considerados son los que se definen en el Capítulo 3:

- Subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque;
- Subsistema de almacenamiento;
- Subsistema de recepción y entrega; y
- Subsistema de interconexión.

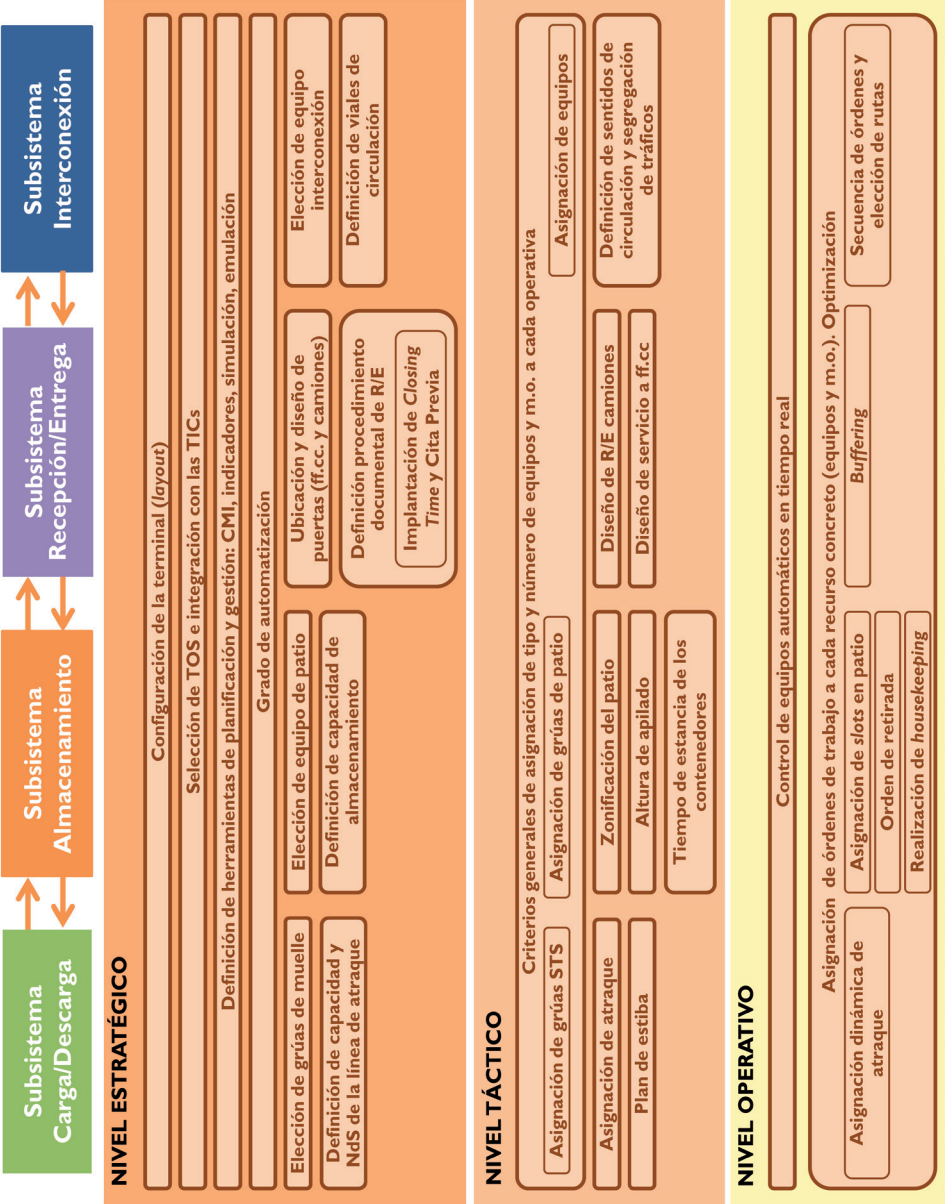
En cualquier caso debe recordarse que la modelización por subsistemas es una simplificación conceptual y que en realidad la terminal funciona como un sistema integrado y por eso un problema localizado puede afectar negativamente al resto de la actividad.

#### **4.2.3. Clasificación de decisiones operacionales en TPCs según subsistemas y horizontes de planificación y gestión**

La Figura 23 representa las decisiones que deben tomarse en las TPCs clasificándolas según el doble criterio del subsistema al que pertenecen y el nivel de planificación y gestión al que afectan. Algunas decisiones son transversales a todos los subsistemas.

En el Anexo se describen detalladamente cada una de las decisiones de la siguiente figura.

Figura 23.- Clasificación de decisiones operacionales en TPCs en función del subsistema y del horizonte de planificación y gestión



*Como ha sucedido a lo largo de la historia  
en la mayoría de los campos de la evolución  
humana, las nuevas tecnologías son un  
apoyo para el progreso (de la cocina).*

Ferran Adrià, cocinero





## Concepto y tipología de innovación en las TPCs

### 5.1. Introducción

De acuerdo con el Capítulo 2, la innovación es un elemento de la estrategia que puede ser entendida: (1) bien como un valor dentro de la enunciación de la Misión, Visión y Valores con su correspondiente política; (2) como dimensión estratégica dentro de una Propuesta de Valor en base a la diferenciación, creando innovación en valor para el cliente; (3), o bien como la introducción de recursos y procesos novedosos, por lo tanto como parte del Plan de Acción que los implementa y organiza, y en particular de la toma de decisiones operacionales (Capítulo 4). En la estrategia de las terminales portuarias es además uno de los dos pilares de la Línea Estratégica de desarrollo y modernización. Como ya se ha argumentado con anterioridad, la presente monografía se centra en la tercera acepción de los posibles significados de innovación dentro de la estrategia, la de innovaciones tecnológicas en recursos y de gestión de los procesos, es decir, la relativa a las perspectivas palanca del CMI (recursos y procesos)

### 5.2. Definiciones y clasificaciones

Atendiendo al concepto de innovación en un sentido más generalizado, innovación es la acción de mejorar algo o de hacer algo novedoso. Diversos organismos han intentado concretar la declaración anterior,

en principio tan sencilla como ambigua, resultando las definiciones que a continuación se recogen.

El Diccionario de la RAE define innovación como la “*creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado*”; innovar proviene del latín *innovāre*, que significa “*mudar o alterar algo, introduciendo novedades*” (RAE, 2010).

Según la norma UNE 166000:2006 (AENOR, 2007) sobre la Gestión de la I+D+i, innovación es “*la actividad cuyo resultado es la obtención de nuevos productos o procesos, o mejoras sustancialmente significativas de los ya existentes*”.

Para la OCDE (2005), una innovación es la “*implementación de un producto (bien o servicio) o proceso nuevo con un alto grado de mejora, o un método de comercialización u organización nuevo aplicado a las prácticas de negocio, al lugar de trabajo o a las relaciones externas*”.

Para la Comisión Europea, “*la innovación consiste en la producción, la asimilación y la gestión con éxito de la novedad en los ámbitos económico y social*” (COM (2003) 112 final).

En definitiva, el concepto de innovación incluye desde la concepción de nuevas ideas hasta la introducción en el mercado de un nuevo producto, proceso o servicio, dependiendo del objeto sobre el cual se aplique. Así, la tercera edición del Manual de Oslo (OCDE, 2005), que clasifica la innovación según este criterio, su aplicación, distingue entre innovación de producto, de proceso, de marketing y organizacional:

- Innovación de producto: introducción de un bien o servicio nuevo o con un alto grado de mejora, respecto a sus características o su uso deseado. Esta incluye mejoras importantes en especificaciones técnicas, componentes y materiales, *software* incorporado, ergonomía u otras características funcionales.
- Innovación de proceso: implementación de un método de producción o distribución nuevo o con un alto grado de mejora. Esta incluye mejoras importantes en técnicas, equipo y *software*.
- Innovación de marketing: implementación de un nuevo método de comercialización que entraña importantes mejoras en el diseño del producto, en su presentación, o en su política de emplazamiento (posicionamiento), promoción o precio.



- **Innovación organizacional:** implementación de un nuevo método de organización aplicado a las prácticas de negocio, al lugar de trabajo o a las relaciones externas de la empresa.

AENOR (2007) propone otra clasificación similar, más extendida que la primera. La asociación cataloga las innovaciones según su aplicación en:

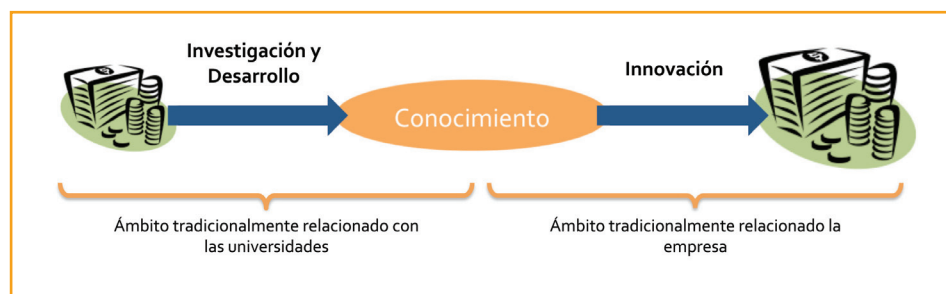
- **Innovación en tecnología:** actividad de generación y puesta a punto de nuevas tecnologías en el mercado que, una vez consolidadas, empezarán a ser utilizadas por otros procesos innovadores asociados a productos y procesos.
- **Innovación tecnológica:** actividad de incorporación en el desarrollo de un nuevo producto o proceso, de tecnologías básicas existentes y disponibles en el mercado.
- **Innovación en la gestión:** mejoras relacionadas con la manera de organizar los recursos para conseguir productos y procesos innovadores.

Por otro lado, cabe señalar que no deben confundirse el proceso de innovación con el de investigación y desarrollo. Tradicionalmente ligadas, las actividades de I+D+i relativas a Investigación, Desarrollo Tecnológico e innovación según la definición que recoge la UNE 160.000:2006, pueden diferenciarse en actividades de I+D y de innovación (i).

La investigación (I) es la *“indagación original y planificada que persigue descubrir nuevos conocimientos y una superior comprensión en el ámbito científico y tecnológico”* (AENOR, 2007); puede ser fundamental —o básica— o aplicada. Por su parte, el desarrollo (D) consiste en la *“aplicación de los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes”* (OCDE, 2002) y, según la norma UNE 166000:2006, el desarrollo puede ser de tecnología propia o tecnológico.

A partir de estas y las anteriores definiciones, en una primera aproximación puede afirmarse que la Investigación es un proceso que transforma riqueza en conocimiento, mientras que la Innovación Empresarial es un proceso que transforma conocimiento en riqueza (Nieto, 2010). De esta forma, la I+D quedaría principalmente vinculada con las universidades, mientras que la innovación sería cometido de las empresas (Figura 24).

Figura 24. Proceso ideal de I+D+i



Fuente: Nieto (2010)

Por ello, algunos autores (OCDE, 1982) consideran que si un producto o proceso no es aceptado por el mercado, realmente, no existe innovación, solo invención; Kim y Mauborgne (2008) llegan incluso a hablar de innovación en valor para el cliente, siendo este un requisito indispensable para que exista tal innovación. Tanto es así que es posible diferenciar entre distintos tipos de innovación en base a ello. Por ejemplo, Chandy y Tellis (1998) propusieron un modelo basado en las variables sobre las que descansa la innovación: tecnología y mercados. La primera variable determina el grado de novedad u originalidad en relación a lo existente hasta el momento; la segunda determina el grado en que el nuevo producto cumple mejor con las necesidades de los clientes en relación con los otros productos existentes. De la combinación de estas surge una clasificación paralela a la anterior que propone cuatro tipos de adelanto: (a) si la originalidad es baja y la satisfacción de la necesidad del cliente es baja se ve como una **innovación incremental**; (b) si la originalidad es baja y la satisfacción de la necesidad de los clientes es alta se ve como un progreso en el mercado; (c) si la originalidad es alta y la satisfacción de la necesidad de los clientes es baja se ve como un progreso en la tecnología; y (d) si la originalidad es alta y la satisfacción de las necesidades de los clientes también es alta se trata de una **innovación radical**.

Para Nieto (2000), la división entre innovaciones incrementales y radicales, además de atender a la magnitud del impacto que las innovaciones ejercen sobre su entorno en base a su originalidad, hace referencia a la naturaleza continua o discontinua del proceso de innovación. Según esta doble consideración:

- **Innovación incremental (evolutiva o gradual):** se refiere a la creación de valor agregado sobre un producto, servicio o producto ya existente, sumándole cierta me-

jora. Las innovaciones incrementales consisten en pequeñas modificaciones y perfeccionamientos que contribuyen, en un marco de continuidad, al aumento de la eficiencia o de la satisfacción del usuario o cliente de los productos y procesos. Un ejemplo de innovación incremental relacionado con las terminales portuarias, sería la aparición de las defensas de muelle de sección trapezoidal hueca que aprovechaban la capacidad de deformación de su perfil además de la propia del material para disipar la energía cinética producida por el buque amarrado, frente a las defensas cilíndricas macizas que únicamente se servían del coeficiente de compresibilidad del material.

- **Innovación radical (*break-through innovation*):** se basa en nuevas aplicaciones de una tecnología o en la combinación original de nuevas tecnologías. Se refiere a la introducción de un nuevo producto, servicio o proceso que no se conocía antes. Implica una ruptura con lo ya establecido que no puede entenderse como una evolución natural de lo ya existente. Las innovaciones radicales son cambios revolucionarios en la tecnología y representan puntos de inflexión para las prácticas presentes (Ettlie, Bridges y O'Keefe, 1984). Estas innovaciones crean un alto grado de incertidumbre, modifican severamente la estructura de los sectores en que surgen, alteran las posiciones competitivas de las empresas establecidas y, en algunos casos, llegan a provocar la aparición de nuevas industrias. Siguiendo con el ejemplo anterior, la introducción en el mercado de las defensas tipo Moormaster® de Cavotec S.A., que reaccionan a los movimientos del buque mediante un sistema de ventosas que además permiten automatizar la operación de amarre reduciendo a uno sus grados de libertad en muelle y por lo tanto favoreciendo la automatización de la interfaz muelle-buque, podría considerarse una innovación radical.

Estos dos tipos de innovaciones también se distinguen por el objetivo que persiguen. Estratégicamente las innovaciones radicales tienen como finalidad la obtención de un producto totalmente novedoso que acapare gran parte del mercado al cual está destinado, mientras que las innovaciones incrementales están orientadas hacia la reducción de costes.

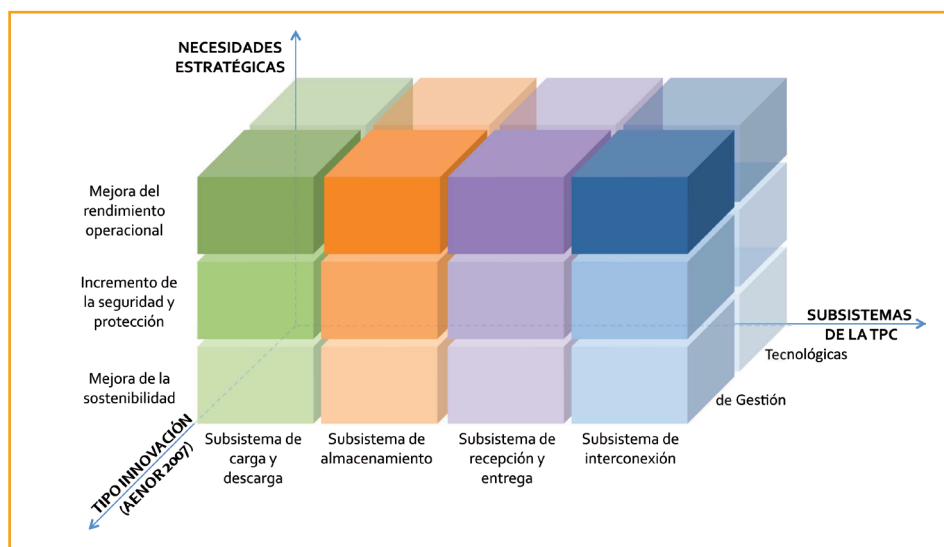
Existen otras clasificaciones menos divulgadas, como la de Chesbrough y Teece (1996) que hablan de innovaciones autónomas e innovaciones sistémicas, refiriéndose a las autónomas como aquellas que se obtienen con independencia de otras innovaciones, mientras que las innovaciones con un carácter fundamentalmente sistémico, son aquellas cuyas ventajas solo pueden materializarse en combinación con otras innovaciones complementarias relacionadas.

### 5.3. Tipologías de innovación en TPCs

En la Terminal Portuaria de Contenedores, además de estas clasificaciones, es posible plantear otras, particulares de este tipo de empresas, como la que las segrega dependiendo del subsistema al que afectan, pudiendo distinguir entre innovaciones del subsistema de carga y descarga, del de almacenamiento, del de recepción y entrega y del de interconexión. Además hay ciertas innovaciones cuya implantación afecta a la totalidad de la terminal como sistema; estas forman una categoría especial dentro de esta clasificación.

Así, en esta monografía cada innovación en la TPC tiene una triple dimensión, (1) atendiendo a la parte de la terminal a la que afecta, subsistema o totalidad, de acuerdo al análisis de la terminal como sistema (Monfort *et al.*, 2011a); (2) según la clasificación propuesta por AENOR (2007) que distingue entre innovaciones tecnológicas y de gestión; y (3) de acuerdo con las necesidades estratégicas propuestas en el Capítulo 2, de Planificación y Gestión Estratégica de una TPC, tal y como recoge la Figura 25.

Figura 25. Triple dimensión de las innovaciones en la TPC



Fuente: Fundación Valenciaport

Nótese que, aunque según AENOR (2007) las innovaciones pueden ser innovaciones en tecnología, innovaciones tecnológicas o innovaciones de gestión, por la naturaleza de las innovaciones en el ámbito portuario, para las terminales de contenedores únicamente se contemplan las dos últimas clases: tecnológicas o de gestión, como ya avanzaba el título del libro.

En realidad, el estudio de cualquier innovación tendría tantas dimensiones como clasificaciones se decida emplear. La triple dimensión definida para Terminales Portuarias de Contenedores se completa con una cuarta perspectiva que permite diferenciar entre innovaciones incrementales y radicales. No obstante, debido a la gran cantidad de innovaciones incrementales diseñadas para terminales de contenedores frente al menor número de innovaciones radicales planteadas específicamente en el sector, así como a la incertidumbre del éxito de estas últimas, salvo que se especifique expresamente lo contrario, este libro se centra en el estudio de las innovaciones incrementales.

Sin perjuicio de lo anterior, cabe recordar que parte de los elementos que en la actualidad se emplean en las TPCs, en su día aparecieron como innovaciones radicales en el sector; por ejemplo los *twistlock-corner casting* como sistema estandarizado para fijar los contenedores durante su manipulación y transporte, o los buques celulares en los que los contenedores se cargan bajo cubierta dentro de fosos especialmente proyectados para su estiba.

En contraposición, aunque pudiera parecer que las grúas pórtico de muelle, las grúas RTG o los *straddle carriers* fueron en su momento innovaciones radicales, estas resultaron de la adaptación de equipos utilizados en otras industrias (p.e. los RTGs y los SCs son una adaptación de las grúas pórtico empleadas en las siderúrgicas). Desde la aparición del contenedor, el sector del transporte marítimo ha ido aprovechando elementos que han surgido en otros ámbitos y particularizándolos paulatinamente mediante innovaciones incrementales para satisfacer las necesidades propias de este elemento de transporte, siendo una innovación radical su uso en TPCs aunque los equipos en sí no puedan considerarse como innovadores.

Como consecuencia y pese a que la acogida de algunas de ellas por el mercado todavía no está clara, se han incluido en la presente monografía, clasificadas de acuerdo con la triple dimensión propuesta, algunas innovaciones que podrían en un futuro revolucionar la forma de manipular contenedores y de gestionar las terminales.

Finalmente, se obvia, entre otras, la clasificación que distingue entre innovaciones autónomas e innovaciones sistémicas, señalando únicamente cuando una innovación debe implementarse en combinación con otras complementarias relacionadas para materializar u optimizar sus beneficios.

La triple dimensión elegida en este caso determina la estructura de la monografía, dividiéndola en los siguientes capítulos:

6. Innovaciones en la terminal portuaria de contenedores como sistema
7. Innovaciones en el subsistema de carga y descarga
8. Innovaciones en el subsistema de almacenamiento
9. Innovaciones en el subsistema de recepción y entrega
10. Innovaciones en el subsistema de interconexión

A su vez, cada uno de los capítulos del 7 al 10, ambos inclusive, se dividen en dos apartados de segundo nivel: innovaciones tecnológicas e innovaciones de gestión. Por último dentro de cada tipo de innovación, estas se clasifican subagrupándolas por necesidades estratégicas: mejora del rendimiento operacional; incremento de la seguridad y la protección; y contribución a la sostenibilidad ambiental.

Debido a que la mayor parte de las innovaciones para TPCs afectan simultáneamente a la consecución de más de una necesidad estratégica, no resulta sencillo clasificarlas dentro del tercer nivel. Por ello, en caso de que una innovación contribuya a varias necesidades estratégicas, se ha convenido que esta quede clasificada dentro de aquella para la que fue inicialmente concebida, aunque se maticen las mejoras que produce en otras. En ocasiones, si bien con menor frecuencia, esta dificultad se presenta también cuando se trata de clasificar las innovaciones de acuerdo con la primera de las dimensiones, es decir, dependiendo del subsistema de la terminal al que afectan. Cuando una innovación pueda afectar a la vez a más de un subsistema, esta se cataloga dentro del subsistema considerado como objeto principal de la mejora, mencionando qué otros subsistemas pueden verse favorecidos también por su implantación, o en su caso como innovación en la terminal como sistema.

Antes de pasar a la descripción ordenada de las innovaciones propiamente dicha, es importante matizar que el concepto de innovación está intrínsecamente ligado a un determinado contexto temporal y espacial. Por un lado, la fugacidad del atributo novedoso

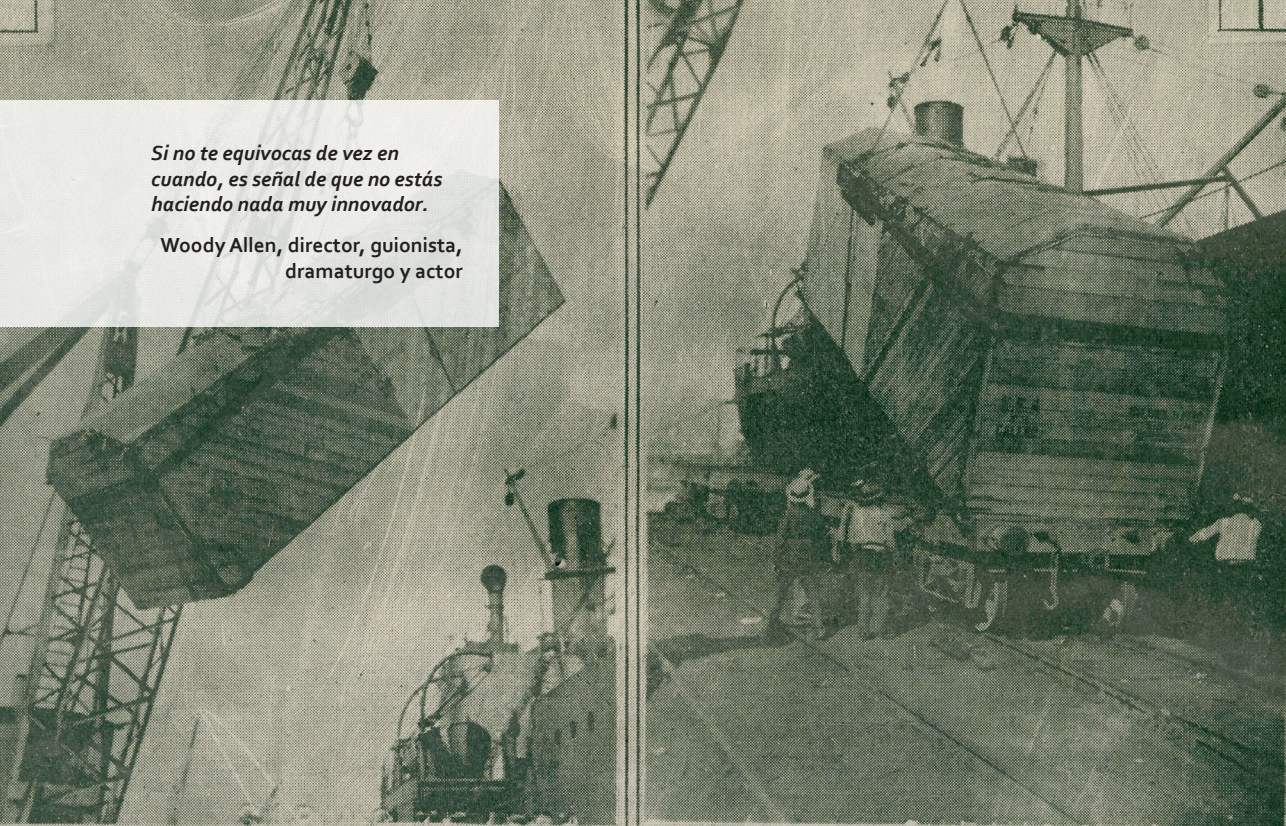
que caracteriza a las innovaciones hace que su catalogación bajo este término sea perecedera. Por el otro, el hecho de circunscribir la innovación a un ámbito espacial permite considerar como innovación la particularización de productos o procesos cuando estos se aplican a un ámbito diferente al mercado global, es decir un sector o una empresa. Por ejemplo, el GPS (*Global Positioning System*) fue una innovación desarrollada para usos militares en la década de los 60; posteriormente su comercialización para el despliegue de sistemas de localización y navegación supuso una innovación en términos absolutos; su utilización ahora en terminales portuarias de contenedores para el guiado y posicionamiento de equipos (DGPS, *Differential Global Positioning System*) es una innovación para este sector. Del mismo modo y aunque los equipos de patio ASC o RMG automáticos han sido implantados en numerosas terminales con éxito desde la última década del siglo XX (ECT Delta Terminal –Rotterdam, Países Bajos–; Antwerp Gateway –Amberes, Bélgica–; APMT Virginia –Norfolk, Estados Unidos–; HHLA –Hamburgo, Alemania–; APMT Algeciras –Algeciras, España–; entre otras) y son a día de hoy un producto más de los suministrados por los principales fabricantes de equipamiento portuario (Konecranes, Kalmar, Gottwald, PACECO, etc.), la transformación del patio de una determinada terminal de contenedores que hasta el momento se gestionase de forma manual a pórticos automáticos, supondría una innovación para esa terminal en cuestión, por cuanto sería una mejora respecto a la situación inicial y generaría valor de forma diferente a como venía haciéndolo. En paralelo existe innovación relacionada con avances en el diseño y la funcionalidad de estos y otros equipos cuyo uso en TPCs ya está consolidado.

Los siguientes capítulos de este libro recopilan, organizan y describen de forma no exhaustiva las ideas de mejora que en 2012 se consideran como innovaciones tecnológicas y de gestión en el ámbito de las Terminales Portuarias de Contenedores.



*Si no te equivocas de vez en  
cuando, es señal de que no estás  
haciendo nada muy innovador.*

Woody Allen, director, guionista,  
dramaturgo y actor





## Innovaciones en la TPC como sistema

En el presente capítulo se abordan aquellas innovaciones que afectan al conjunto de la TPC como sistema, clasificadas en las categorías de innovaciones de gestión e innovaciones tecnológicas atendiendo al aspecto que prevalece en su desarrollo e implantación. En el primer apartado se enlaza con los capítulos anteriores la necesidad estratégica de la innovación en la gestión de una TPC y se profundiza en tal contexto, desde distintas perspectivas, el tema de la automatización en una TPC. En los apartados siguientes se acometen en primer lugar las innovaciones vinculadas a la gestión de los recursos y procesos de la terminal y, seguidamente las innovaciones de marcada componente tecnológica.

### 6.1. Innovación y automatización

#### 6.1.1. Introducción: definición y consideraciones generales

Automatización, tomando solo su significado más etimológico y general, sería la acción de hacer algo más automático. El término automático viene del vocablo griego “*automatos*”, que significa “con movimiento propio” o “espontáneo”. Desde este enfoque general y partiendo de un principio muy humanista, se podría describir la automatización, en diferentes grados, como la acción por la que procesos y procedimientos, desarrollados bien por personas o mediante máquinas, se modifican para que dejen de necesitar la atención y la intervención expresa de operadores humanos.

Cabe puntualizar que la mayor parte de las definiciones de automatización que se pueden encontrar consideran explícitamente, como parte de este proceso, la reducción de la intervención humana, lo que puede conducir a la idea de que “automatizar” supone siempre “eliminar” puestos de trabajo. Es cierto que a veces la automatización conlleva la sustitución de puestos de trabajo en aras de la seguridad, de la calidad o de otras características o atribuciones del propio proceso al que afecta. Sin embargo, en otras ocasiones las automatizaciones no eliminan ningún puesto de trabajo, sino que simplemente permiten el desarrollo de las funciones de forma más eficiente y segura o permiten la realización de algún nuevo proceso gracias a la aplicación de nuevas tecnologías. En instalaciones *ex novo* planteadas como automatizadas, lo que ocurre es que se crean menos puestos de trabajo de manipuladores, aunque requieren mucho más trabajo de personal cualificado en planificación y gestión (*software*, TICs, optimización, planificación, etc.).

Históricamente, la mejora del rendimiento operacional, la capacidad y el nivel de servicio de las operaciones de las TPCs, en términos técnicos y económicos, así como las mejoras en seguridad y protección y en mejores prácticas medioambientales, han requerido e impulsado el desarrollo incremental de la automatización de los procesos y recursos, consolidándose como una tendencia universal y permanente.

Al inicio de la década de los 90, concretamente en 1993, entró en servicio la primera TPC automatizada en el Puerto de Rotterdam que prescindió de manipuladores para el manejo de los equipos de interconexión y de almacenamiento generando la nueva denominación de “**terminal automatizada**” en atención a su máximo grado de automatización. A esta han seguido otras configuraciones que han enriquecido la referida tipología.

Los avances tecnológicos y de gestión dedicados a la automatización actualmente copan buena parte de las innovaciones del mercado de equipamiento y *software* para TPCs.

De hecho, la política portuaria europea viene apostando por el impulso de la innovación y en particular en relación con la automatización. En el marco europeo, la Comunicación sobre una política portuaria europea de la Comisión (COM (2007) 616 final), consciente de la importancia estratégica de las infraestructuras portuarias para el desarrollo y crecimiento económico, explicita que “*las nuevas innovaciones tecnológicas relativas a los equipamientos portuarios, tales como las grúas apiladoras automatizadas, las grúas pórtico sobre raíles, las terminales de contenedores automatizadas y los dispositivos de elevación twin o en tandem, constituirán también un factor importante que permitirá aumentar la eficiencia de los*

*puertos europeos*”. Por su parte, en el caso español, en la Comisión de Fomento de febrero de 2012 la Ministra adelantó que se exigirá en los concursos concesionales el uso de tecnologías que supongan avances en la productividad y automatización de las terminales.

Desde la perspectiva de las decisiones relativas al proceso de planificación y gestión de una TPC (Capítulo 4), el grado de automatización de la misma es una decisión del plano operacional que constituye una iniciativa del plan de acción de la terminal a nivel estratégico. A su vez esta decisión resulta determinante en la gestión a niveles táctico y operacional, es decir para la planificación y la gestión operativa. Por tanto, si se consideran los tres niveles de decisión planificación y gestión de una TPC, estratégico, táctico y operativo, en todos ellos deben tomarse decisiones relacionadas con la automatización. Así, una vez acordado el grado de automatización de la TPC en el nivel estratégico, en los niveles táctico y operativo deben definirse otras cuestiones sobre automatización bien de procesos, bien de equipos o de recursos.

Muchas de las soluciones de automatización en los distintos niveles y en los distintos ámbitos —eléctrico, electrónico, mecánico, hidráulico, energético, químico, etc.— pueden considerarse innovaciones tecnológicas en los diferentes subsistemas de la TPC. Dicho de otro modo, las constantes innovaciones tanto tecnológicas como de gestión —procesos, CMI, LSS, TOS, etc.—, permiten que mediante un proceso de toma de decisiones en los tres niveles, la TPC pueda elegir o rechazar diferentes soluciones de automatización.

La automatización como iniciativa estratégica coadyuva principalmente a objetivos de la línea estratégica de “desarrollo y modernización”, que está directamente relacionada con los recursos y la forma de gestionarlos. No obstante, su influencia sobre el resto de líneas estratégicas de una terminal de contenedores —excelencia operativa, y crecimiento e integración con el entorno— es también directa. Por ello, la automatización da respuesta a las tres necesidades estratégicas (Capítulo 2) que, desde una concepción moderna del negocio basada en el desarrollo sostenible de la actividad, debe considerar la estrategia de cualquier terminal: la mejora del rendimiento operacional, el incremento de la seguridad y la protección y la contribución a la sostenibilidad ambiental (Port Technology International, mayo 2008).

Así pues, la automatización de la terminal no se reduce a la ejecución de los movimientos de equipos sin mano de obra (Vieira *et al.*, 2011), sino que se aplica a la toma de decisiones tácticas y operativas como la elección del orden de carga y descarga, la asignación de má-

quinas y recorridos, etc. Así mismo, en el caso de los equipos principales de las TPCs (grúas de muelle y patio), es habitual el empleo de sensores que ayuden al manipulador, mejorando la precisión, la visibilidad, la seguridad, etc., como los de fin de carro, tope de elevación, anti-sway, anti-skew, anti-snag, sobrepeso, altura libre, detectores volumétricos de proximidad de objeto anticolidión, etc., que posibilitan la automatización de algunos procesos.

Las decisiones referentes a la automatización de una terminal portuaria de contenedores y el proceso de su implementación deben considerar particularidades referentes al grado de desarrollo de la misma, al nivel de automatización a implementar y a las tecnologías necesarias para ello.

El análisis de viabilidad y el plan de implementación de iniciativas estratégicas relativas a automatizaciones deben valorar que estas requieren una gran inversión de capital en equipos y formación, puesto que implican un cambio total del sistema de trabajo y de la gestión del mismo.

### **6.1.2. Terminal de nuevo desarrollo vs. terminal en servicio**

Los aspectos a considerar ante la decisión de automatizar una TPC, como ocurre en otras industrias, son diferentes dependiendo de si se trata de una terminal de nuevo desarrollo o de una terminal ya en servicio. En estas últimas la implementación de automatizaciones es más complicada por motivos de compatibilidad con el desarrollo de la actividad existente y de resistencia al cambio.

La automatización de una terminal requiere ineludiblemente su instrumentación, que consiste en la instalación de los equipos, sensores, transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de *software* en tiempo real para llevar a cabo, supervisar y controlar las operaciones. En terminales en servicio esto supone una pérdida temporal del rendimiento operacional y la eficiencia, que en ocasiones perjudica la capacidad y el nivel de servicio prestado, cuya duración y magnitud depende de la automatización en cuestión. Cuando se trata de una automatización de los subsistemas de almacenamiento e interconexión, como la llevada a cabo por Antwerp Gateway Terminal (Puerto de Amberes, Bélgica), que además transformó su patio de *straddle carriers* a RMGs, o como la planificada por Xiamen Yuanhai Container Terminal (Puerto de Xiamen, China), entre otras, esta debe implementarse por fases para permitir que la instalación siga operando.

Por otro lado, como se ha comentado, las automatizaciones pueden redundar en una reducción de los puestos de trabajo, especialmente entre los llamados “estibadores portuarios”, aquellos que ejecutan operaciones de estiba, carga, desestiba, descarga, apilado, recepción y entrega, etc. La percepción de la pérdida de estabilidad y de número de puestos de trabajo desencadena conflictos laborales cuyo desenlace no siempre es sencillo. Este es uno de los desafíos más importantes que se plantea en la automatización de terminales en servicio.

Para evitar estos problemas y en línea con la tendencia actual, cada vez son más las terminales de nuevo desarrollo que han optado por configurarse como terminales automatizadas en las fases iniciales de planificación y construcción, como ya lo hicieron HHLA-CTA (Puerto de Hamburgo, Alemania), Euromax Terminal Rotterdam (Puerto de Rotterdam, Países Bajos), TTI Algeciras (Puerto Bahía de Algeciras, España), APM Terminals Virginia (Puerto de Virginia, EE.UU.) y BEST (Puerto de Barcelona, España) entre otras. En este caso, la automatización se integra en el diseño del *layout* y en la operativa desde el primer momento reduciendo el rechazo de esta decisión estratégica.

En cualquier caso, el impacto de la automatización en el normal desarrollo de las operaciones de la TPC y en el entorno laboral depende del grado de automatización.

### **6.1.3. Grados de automatización**

Se puede distinguir, por un lado, entre terminales automatizadas y terminales semi-automatizadas y, en paralelo, considerar las llamadas automatizaciones menores en contraste con las automatizaciones mayores.

#### **6.1.3.1. Terminales automatizadas y terminales semi-automatizadas**

El término “totalmente automatizada” o simplemente “automatizada” se emplea para denominar a las TPCs que son como la primera terminal automatizada, es decir, las que han automatizado los movimientos en patio y los de interconexión muelle-patio, aun cuando los de grúa-buque siguen siendo manuales.

Aunque las tendencias actuales evolucionan hacia una automatización total de estas instalaciones, una solución intermedia entre la automatización total y la ejecución manual de los movimientos principales es la automatización parcial o semi-automatización de los

misimos. Se suele emplear el término de terminal “semi-automatizada” para aquellas en las que el funcionamiento del patio está automatizado, pero la interconexión grúa-muelle se efectúa con equipos convencionales. Como ejemplos de TPCs semi-automatizadas pueden mencionarse las de TTI Algeciras (de Hanjin, en el Puerto Bahía de Algeciras), BEST (de HPH, en el Puerto de Barcelona), Antwerp Gateway Terminal (de DPW, en el Puerto de Amberes, Bélgica), y APM Terminals Virginia (de APMT, en Norfolk, Portsmouth, Estados Unidos) entre otras. También se puede considerar como semi-automatización el manejo de equipos por control remoto. En otro sentido, algunos autores también llaman semi-automatización a la sistematización de algunas de las funciones de los equipos mediante automatizaciones menores.

En definitiva, en lo que al grado de automatización se refiere, es conveniente no dogmatizar y contemplar cualquier combinación posible entre la automatización total y la gestión convencional manual, pasando por el control remoto de equipos.

#### **6.1.3.2. Automatizaciones mayores y menores**

La diferencia entre automatizaciones mayores y menores es más rigurosa. Se entiende por automatización mayor la automatización total de un proceso, movimiento o equipo, y por automatizaciones menores a las múltiples aplicaciones de nuevas tecnologías, tanto en la parte lógica, operativa y administrativa, como en la parte física de manipulación de equipos y contenedores que permiten automatizar un dispositivo, tales como detectores volumétricos, sistemas de seguridad de recorrido de carro, de auto-steering, anti-snag, anti-skew, etc.

Aunque las automatizaciones mayores son la parte más visible de la acción de automatizar, prácticamente cualquier TPC tiene implementadas automatizaciones menores que los propios equipos y sistemas informáticos traen incorporadas de fábrica. En ocasiones los sistemas de automatización menores son implantados *a posteriori* como medidas adicionales para mejorar la eficiencia, la seguridad y la calidad. Sin embargo la controversia asociada a este tipo de iniciativas es considerablemente menor que cuando se plantea una automatización mayor, y son bien acogidas porque disminuyen la intensidad de la intervención humana sin reducir los puestos de trabajo necesarios, a la vez que facilitan a los operarios el desarrollo de sus funciones, mejoran su seguridad en el trabajo o añaden valor al proceso de manipulación agregando nuevas aplicaciones, por ejemplo al incorporar escáneres de radiación en los *spreaders*.

No obstante, muchas de las automatizaciones mayores de los equipos son la suma de un conjunto integral e integrado de tecnologías lógicas y físicas que por separado podrían considerarse automatizaciones menores. De esta forma, es posible automatizar equipos convencionales mediante la implementación de las automatizaciones menores necesarias. Esta es una solución para terminales en servicio que todavía no han amortizado su inversión inicial en equipamiento y permite configurar equipos con diferentes grados de automatización.

### 6.1.3.3. *Retrofitting*

Conviene introducir aquí el concepto de *retrofit* o *retrofitting*. Se trata de una técnica de renovación de instalaciones, equipos, maquinaria e incluso vehículos, basada en la actualización de componentes o accesorios por otros más modernos o eficaces que los actuales, o su incorporación en el caso de que no existieran antes.

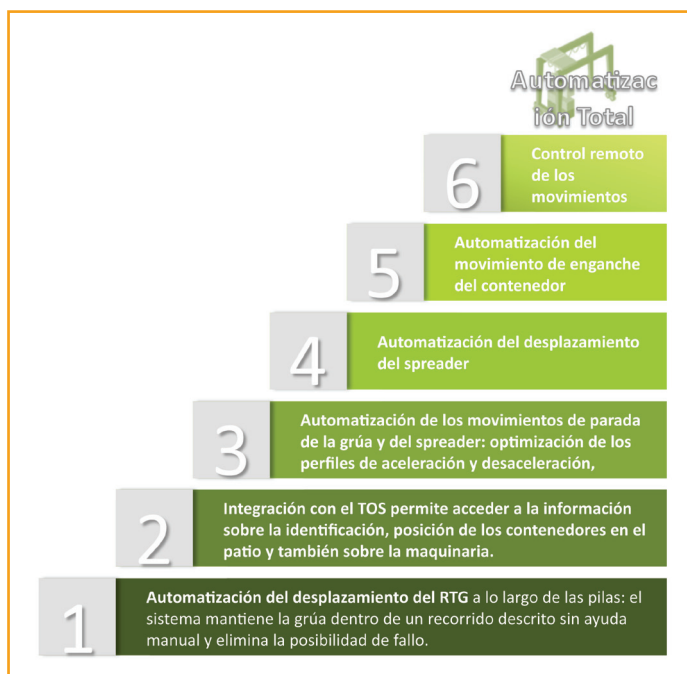
Si se tiene en cuenta el elevado coste de los equipos portuarios, especialmente en relación a los equilibrios económicos de la explotación de la TPC y su vida media en años y en ciclos, es fácil comprender cómo el *retrofitting* es una técnica casi obligatoria para que los grandes equipos portuarios, los más costosos y de mayor vida media, puedan seguir siendo competitivos, especialmente en términos de seguridad y eficiencia.

Los grandes equipos portuarios tienen una elevada modularidad, dependiendo de la “filosofía” del fabricante. Lógicamente, algunos equipos son más modulares que otros. Por otra parte, aquellos fabricantes que utilizan diseños propios distanciados de los que emplea la mayoría, con independencia de su mayor o menor eficiencia y seguridad, se arriesgan a que el *retrofitting* sea menos aplicable a sus equipos, y que esa característica afecte negativamente en la decisión de los operadores al elegir el equipamiento de sus TPCs a favor de la competencia.

Aplicado a la automatización, el proceso del *retrofitting* sería la acción de automatizar un equipamiento mediante la modificación de los componentes existentes o añadiéndole nuevos. Como se puede deducir, el *retrofitting* es una buena opción para la automatización o semi-automatización de los equipos a lo largo de su vida útil, permitiendo consideraciones de tipo económico y financiero con respecto a sus valores residuales, el coste del *retrofitting*, el del lucro cesante durante las paradas para actualizar dichos equipos, etc.

Como ejemplo, para el caso de las grúas RTG, este proceso podría estructurarse en siete fases o módulos (Figura 26). En cada una de ellas se automatiza un movimiento o una parte de la grúa hasta que se consigue llegar a una automatización total del equipo. Una de las ventajas del *retrofitting* es precisamente la independencia de cada uno de los módulos, permitiendo diferentes grados de automatización en función de las necesidades de la estructura operativa de la instalación.

Figura 26. *Retrofitting* para la automatización de RTGs



Fuente: Vieira *et al.* (2011)

#### 6.1.4. Tendencias en automatización de TPCs

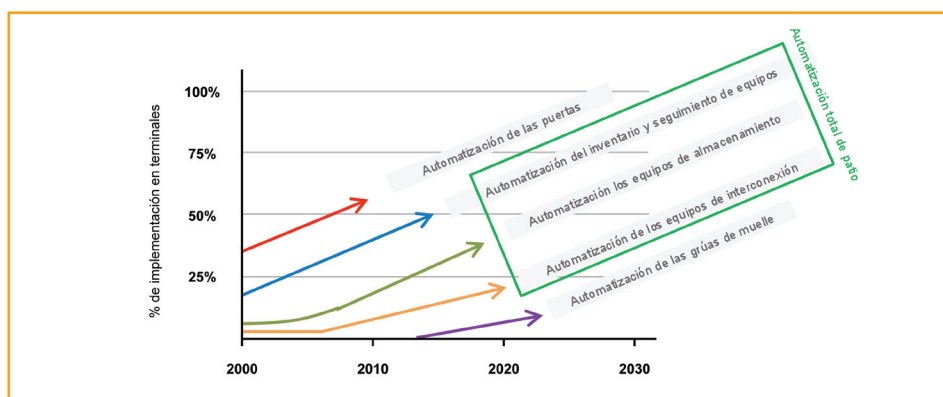
En la actualidad los fabricantes de equipos de manipulación portuaria y los operadores de terminales están trabajando conjuntamente en el desarrollo de tecnología que per-



mita automatizar las TPCs de forma eficiente. Las tendencias en automatización van más allá de automatizar los equipos de almacenamiento e interconexión y se está evolucionando hacia mayores grados de automatización que rebasan las fronteras del patio de la terminal y avanzan hacia la totalidad de las operaciones. El paso del contenedor a través de la terminal, así como a lo largo de la cadena logístico-portuaria en la que esta se integra, supone un flujo físico y uno documental asociado (Monfort et al., 2011a).

Cabe destacar que existen muchos procesos asociados al flujo de información que, desde hace tiempo, se realizan de forma automática. Por ejemplo, el TOS, el sistema operativo de las TPCs, automatiza la transmisión y procesamiento de información externa e interna necesaria para el desarrollo de las operaciones. De hecho, las primeras automatizaciones implementadas en terminales marítimas de contenedores y los sistemas de automatización más avanzados del mercado a día de hoy son los relacionados con los procesos que tienen lugar en las **puertas de la terminal** (Gráfico 1). En este sentido, se sigue trabajando en el perfeccionamiento de sistemas de captación de los datos en la interfaz terminal-cadena logística. Este interés por automatizar la captura de información es común a la puerta terrestre y marítima, aunque es la primera de ellas la que recoge un mayor volumen de datos.

Gráfico 1. Tendencias en la automatización de TPCs



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de Saanen (2011)

La automatización del flujo físico consiste en que los movimientos del contenedor en la terminal se realicen minimizando la intervención del personal que trabaja en contacto directo con el mismo, principalmente de los manipuladores de los equipos portuarios. El grado de automatización alcanzable en cada movimiento depende del grado de sistematización y repetición del mismo. Con la evolución tecnológica cada vez es posible automatizar movimientos más complejos, como ilustra el Gráfico 1.

La tecnología de automatización de los equipos de almacenamiento e interconexión es similar y necesita de la automatización del inventario de contenedores presentes en el patio y el seguimiento de los equipos en tiempo real, imprescindibles para este fin. Son muchas las terminales que han adoptado soluciones tecnológicas en este sentido, por norma general combinadas para la obtención de mayores beneficios. Esta, la **automatización del patio**, es una tendencia manifiesta en automatización de terminales que evoluciona hacia el diseño de sistemas de manipulación cada vez más autónomos y eficientes en términos operativos y económicos.

Finalmente, **las grúas de muelle** son los elementos de la operativa cuya automatización se encuentra menos desarrollada, aunque por ello precisamente es por lo que se prevé que sea el equipo que experimente un mayor salto tecnológico en los próximos años. Hasta la fecha, los esfuerzos de automatización de las grúas de muelle han resultado en automatizaciones menores que, implementadas de fábrica o mediante procesos de *retrofitting*, permiten mecanizar algunas de las funciones que hasta la fecha dependían de la destreza del gruista. Estas, sumadas a semi-automatizaciones que se encuentran en fase experimental, suponen el primer paso hacia la automatización total del subsistema.

En conclusión, a día de hoy, en automatización de terminales se está evolucionando paralelamente en tres líneas de desarrollo o tendencias que avanzan hacia la automatización completa de la terminal que son:

- la automatización de puertas;
- la automatización de patio; y
- las automatizaciones menores en grúas de muelle.

#### 6.1.4.1. Automatización de puertas

En la búsqueda de la mejora del rendimiento y la seguridad de las operaciones en las puertas de acceso a la terminal, los operadores están implantando sistemas de identificación automática del contenedor, el vehículo y el conductor, así como de mediciones de volumen, peso y escaneo, de comprobación del estado del contenedor y de localización en tiempo real de los camiones externos dentro del recinto de la terminal. Estas tecnologías permiten a los operadores recopilar una mayor cantidad de información a la vez que reducen los tiempos de tránsito del camión, mejorando el servicio al cliente e incrementando el nivel de seguridad y protección.

Como ocurre en otros subsistemas, el grado de automatización de las puertas es función de los sistemas que en cada caso se integran en el *Gate Operating System* (GOS) o sistema operativo de puertas, aunque la tendencia es hacia puertas totalmente automáticas que no requieren la intervención manual salvo para solucionar problemas puntuales. Con este fin se instala un *hardware* de captura de datos compuesto por sensores de muy diversa naturaleza (OCRs, RFIDs, básculas, láseres, escáneres, cámaras, GPS, etc.) y un *software* de control que procesa la información y conecta con el TOS de la terminal que es quien elabora y transmite, también de forma automática, las instrucciones de recepción y entrega a los vehículos externos y a los equipos dedicados a esta operativa.

Una solución intermedia es la puerta semi-automatizada que permite trasladar a los operarios de las puertas a un entorno de oficinas. El sistema instalado en las puertas recopila la información de forma automática y el personal de puertas, desde un punto remoto, toma las decisiones respecto a la entrada y salida de vehículos. Esta configuración permite que cada operario atienda más de una puerta simultáneamente.

El Capítulo 9 describe las tecnologías disponibles en el mercado para la automatización de puertas. Algunas de estas, como el OCR, pueden aplicarse también a la puerta marítima de la terminal y a los equipos de almacenamiento para identificar de forma automática el contenedor que está siendo cargado o descargado, permitiendo comprobar que la estiba a bordo y la asignación de equipos de interconexión coinciden con la planificación de las operaciones, y reduciendo los posibles errores de clasificación. Asimismo, hay escáneres que se ubican en el *spreader* de las grúas de muelle o de equipos de patio.

#### **6.1.4.2. Automatización del patio**

En paralelo, desde la década de los 90 y de manera más intensa durante los últimos años, la automatización del patio, entendiendo como tal la de los subsistemas de almacenamiento e interconexión, se ha convertido en la tendencia más evidente y notoria de automatización en terminales con capacidad para manipular tráficos superiores a 1.000.000 de TEUs de manera eficiente en términos económicos. Esto se debe por una lado a la importante inversión y la aparatosa instrumentación que requiere, y por otro por el cambio drástico que introduce en la forma de gestionar las terminales, que es percibido por los trabajadores, los clientes y la sociedad en general como un progreso hacia el futuro y que redunde de forma visible en la mejora del rendimiento operacional, el incremento de la seguridad y la protección y la contribución a la sostenibilidad ambiental.

De hecho, desde la perspectiva económico-financiera la automatización del patio de almacenamiento resulta interesante tanto como solución para instalaciones de nuevo desarrollo como desde la perspectiva de la conversión de terminales convencionales. En ambos casos, los beneficios económicos son mayores cuando además se automatiza la conexión entre patio y muelle.

Por ello, como se ha comentado, las terminales que tienen automatizado el patio son las que se conocen como terminales semi-automatizadas.

A fecha de septiembre de 2012 se encuentran en funcionamiento las siguientes TPCs automatizadas y semi-automatizadas, todas ellas con patio automático, son:

- ECT Delta Terminal (HPH) –Puerto de Rotterdam, Países Bajos– desde 1993.
- London Thamesport (HPH) –Medway Ports, Reino Unido– desde 1994.
- Hong Kong International Terminal 6-7 (HIT, HPH) –Puerto de Hong Kong, Hong Kong– desde 1995.
- Pasir Panjang Bridge Crane Terminal (PSA) –Puerto de Singapur, República de Singapur– desde 2000.
- HHLA-CTA –Puerto de Hamburgo, Alemania– desde 2002.

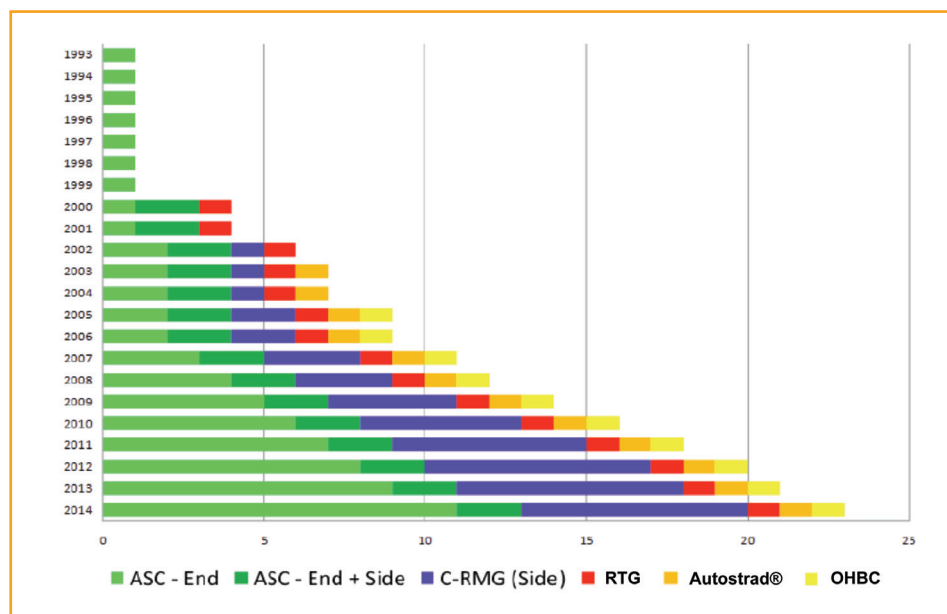
- Patrick Terminals –Puerto de Brisbane, Australia– desde 2005.
- Tobishima Pier South Side Container Terminal (TCB) –Puerto de Nagoya, Japón– desde 2006.
- Wan Hai –Puerto de Tokyo, Japón– desde 2006.
- APM Terminals Virginia, Norfolk (APMT) –Portsmouth, Estados Unidos– desde 2007.
- Antwerp Gateway Terminal (DPW) –Puerto de Amberes, Bélgica– desde 2007.
- Evergreen (EMC) –Puerto de Kaohsiung, Taiwán– desde 2007.
- Euromax Terminal –Puerto de Rotterdam, Países Bajos– desde 2008.
- TTI Algeciras (Hanjin) –Puerto Bahía de Algeciras, España– desde 2010.
- Pusan Newport International Terminal (PNIT) (PSA y Hanjin) –Puerto de Busan, Corea del Sur– desde 2010.
- HHLA-CTB –Puerto de Hamburgo, Alemania– desde 2011.
- BEST (HPH) –Puerto de Barcelona, España– desde 2012.

Este listado no ha dejado de crecer en los últimos años y seguirá haciéndolo puesto que se continúa invirtiendo en proyectos de automatización y construcción de nuevas terminales automatizadas en distintas áreas geográficas como Xiamen Yuanhai Container Terminal –Puerto de Xiamen, China–; APL Pier 300 Expansion y TraPac Expansion –Puerto de Los Ángeles, Estados Unidos–; entre otras.

Estas instalaciones portuarias representan el estado del arte de las tecnologías disponibles para la automatización de patio, si bien no todas ellas han optado por la misma solución tecnológica en su diseño. Factores como la disponibilidad de espacio, la caracterización del tráfico, los requerimientos de rendimiento operacional, los costes laborales y la disponibilidad de mano de obra determinan la elección del tipo de equipo de almacenamiento y de interconexión, la configuración del patio y el grado de automatización para cada caso.

El Gráfico 2 muestra la frecuencia de elección de cada una de las configuraciones implementadas hasta la fecha y las proyectadas hasta 2014.

Gráfico 2. Número de terminales automatizadas y semi-automatizadas según su configuración de patio



Fuente: Saanen (2011)

La configuración más empleada y que ha experimentado un mayor crecimiento desde 2007 es la de ASCs alineados perpendicularmente al muelle que recogen y entregan los contenedores en los extremos de las pilas (ASC-End). Este sistema es el utilizado por la mayor parte de las terminales europeas (automatizadas o semi-automatizadas) y tiene la consideración del mayor grado de automatización en patio alcanzable a día de hoy cuando se combina con AGVs, u otros equipos auto-guiados, aunque también se pueden utilizar vehículos convencionales para interconexión (SCs, mini SCs o conjuntos de cabeza tractora y plataforma).

La siguiente configuración en orden decreciente de frecuencia de presentación es la que emplea grúas RMGs cantiléver (C-RMGs) con pilas de gran tamaño, paralelas o perpendiculares al muelle, que recogen y entregan los contenedores sobre los equipos de interconexión y los camiones externos en el costado de la pila; suele combinarse con el sistema manual de cabeza tractora más plataforma como equipo de interconexión. Esta

disposición da densidades de apilado muy altas y ha sido adoptada principalmente por terminales asiáticas.

Actualmente existen un par de terminales que utilizan ASCs que combinan la carga y descarga en el extremo de la pila para camiones externos, con la carga y descarga en el costado de pila para los equipos de interconexión dedicados a la transferencia entre patio y muelle (ASC-End+Side).

El resto de sistemas son minoritarios y está previsto que experimenten un crecimiento mucho menor que los anteriores en los próximos años (AECOM, 2012).

Los RTGs son por norma general equipos manuales manipulados por conductores situados en una cabina en la parte superior de los mismos que se combinan con conjuntos de cabeza tractora y plataforma como equipos de interconexión. La única excepción en este sentido es la terminal Tobishima Pier South Side Container Terminal (Tobishima Container Berth) –Puerto de Nagoya, Japón–, que tiene un diseño compuesto por RTGs manipulados por control remoto desde una sala de operaciones combinados con AGVs. Debido a las dificultades técnicas para automatizar grúas sobre neumáticos frente a las facilidades que ofrecen las montadas sobre raíles, es improbable que haya nuevas terminales automatizadas que opten por este sistema.

Respecto a los *straddle carrier* automáticos, el fabricante Kalmar del grupo Cargotec les llama Autostrad®. Al igual que los *straddle carrier* convencionales requieren mucho espacio para maniobrar y alcanzan alturas de apilado relativamente bajas, por lo que obtienen densidades de almacenamiento mucho menores que otros sistemas. Los Autostrad® van a ser la solución tecnológica elegida para automatizar Port Botany Container Terminal –Sydney Ports, Australia– (Port Technology International, septiembre 2012).

Por último, los OHBCs (*OverHead Bridge Cranes*) son grúas puente montadas sobre una infraestructura de hormigón, con funcionamiento automatizado, que permiten el apilado de contenedores hasta 8 alturas. Como ya se comentó en el Capítulo 3 los elevados costes de infraestructura que requiere este sistema, junto con inconvenientes relacionados con el rendimiento operacional o la integridad de los contenedores, entre otros, comparado con los RMGs han hecho que este sistema únicamente haya sido implementado en la terminal Pasir Panjang Bridge Crane Terminal (PSA) –Puerto de Singapur, República de Singapur–.



El Capítulo 8 describe las innovaciones tecnológicas y de gestión del subsistema de almacenamiento en función del tipo de equipo de patio.

#### 6.1.4.3. Automatizaciones menores en grúas de muelle

Como tercera de las tendencias en innovación mencionadas se está trabajando en mejorar los sistemas de ayuda al funcionamiento de las grúas de muelle o grúas STS (*Ship-To-Shore*). A día de hoy no existe una solución tecnológica que suponga la automatización completa de dichos equipos y que resuelva la interfaz buque-muelle sin intervención humana. El menor desarrollo de las automatizaciones en los equipos de muelle respecto al del resto de subsistemas es consecuencia del mayor número de grados de libertad existente en los movimientos de carga y descarga respecto a los de interconexión o almacenamiento y de la complejidad y singularidad de los mismos.

No obstante, sí se está avanzando en la reducción de la necesidad de intervención del operador de la grúa mediante automatizaciones menores que facilitan su trabajo. Se trata de mejorar el control de los movimientos del *spreader*, tanto los involuntarios (balanceo y oscilaciones) como su trayectoria, y la conexión entre las grúas de muelle y los equipos de interconexión. Así mismo, los sistemas de prevención de accidentes y de escaneado de los contenedores son automatizaciones menores que mejoran la seguridad y la protección de los trabajadores y las instalaciones añadiendo valor a la operativa mediante nuevas funciones de medición y control de parámetros relacionados con estos aspectos.

La suma de automatizaciones menores permite evolucionar gradualmente hacia la automatización del subsistema de carga y descarga. En paralelo, terminales y fabricantes están probando sistemas que suponen un salto tecnológico cualitativo para la automatización de las grúas STS. Este es el caso de las grúas manipuladas por control remoto de grúas, las de doble carro de ZPMC con plataforma intermedia que permite automatizar parte del recorrido del contenedor, o los sistemas que permiten colocar y retirar automáticamente los *twist-locks*.

Finalmente, para apoyar la automatización del subsistema de carga y descarga se están desarrollando sistemas de amarre automático (*auto-mooring*) que reducen los movimientos de los buques atracados y por tanto, disminuyen los grados de libertad de dichos movimientos, mejorando la fiabilidad de los sistemas de posicionado y la posibilidad de automatización.

Todas estas tecnologías además de algunas herramientas de gestión relacionadas con las innovaciones del subsistema de carga y descarga de buques se describen en el Capítulo 7.

## 6.2. Innovaciones de gestión

El negocio de las Terminales Portuarias de Contenedores ha avanzado en paralelo al del desarrollo del tráfico marítimo contenedorizado desde mediados de la década de 1950. Y al igual que éste último, en un principio empleó a profesionales del sector del transporte marítimo y de los puertos tradicionales, anteriores al contenedor. Por otra parte, desde la segunda mitad del siglo XX la gestión empresarial ha avanzado enormemente.

Estos dos procesos confluyeron a finales del siglo pasado, cuando el proceso de integración vertical y horizontal de empresas dedicadas al transporte del contenedor (navieras y terminalistas), generó operadores globales de TPCs, compañías multinacionales cuyos directivos manejan herramientas y metodologías de gestión empresarial, muchas de origen industrial, incorporándolas a la gestión de las TPCs. De esta forma se pueden encontrar, por ejemplo, CEOs de TPCs con acreditación de “*Black Belt Lean Six Sigma*”. Adicionalmente estos operadores también recurren a expertos en gestión y en negocio en general ajenos a la industria del contenedor para la mejora de sus procesos y resultados.

Existen metodologías como la Teoría de Restricciones, el sistema *Lean*, la metodología *Six Sigma*, y el Mapeo de Valor que pueden usarse de modo combinado como herramientas de mejoramiento organizacional:

- La Teoría de Restricciones (*Theory of constraints*) desarrolla una metodología para analizar relaciones causa-efecto de sistemas complejos, y localizar los “problemas raíz” y plantear mejoras: unos pocos factores gobiernan el funcionamiento del sistema (Goldratt y Cox, 1992; Goldratt, 1994; Goldratt, Schragenheim y Ptak, 2000; entre otros).
- El Sistema *Lean Manufacturing* (o Sistema Toyota) tiene como principio fundamental eliminar lo superfluo. Se basa en los principios de mejora continua, producción *just in time* (inventarios y tiempos de producción mínimos) y responder a las necesidades del cliente (Shingo, 1985 y 1989; Ohno, 1988; entre otros).
- El *Six Sigma* es heredero de los principios de Calidad Total y se centra en la mejora de los procesos para la eliminación de la desviación respecto al objetivo del cliente y la prevención de errores o defectos (Ishikawa, 1976; Harrington, 1995; Mizuno y Akao, 1994; entre otros).

Existen desarrollos teóricos y unos primeros trabajos de aplicación práctica de *Lean Six Sigma* (LSS) a terminales del grupo APMT, tanto internamente como en conjunción con la Universidad Delft de Rotterdam.

Adicionalmente, la Facultad de Ingeniería Marítima de la Universidad Marítima de Chabahar, en Irán ha desarrollado trabajos de aplicación de LSS a los accesos terrestres de una TPC.

Es cierto que no todas las técnicas y metodologías industriales o de negocio son de aplicación clara o efectiva a las TPCs. Por ello el alcance de este capítulo no es aportar un catálogo de estas herramientas y metodologías y su utilización en terminales de contenedores, aunque sí se analizan las innovaciones de gestión en TPCs orientadas a la implementación de herramientas que permiten llevar a cabo un seguimiento y control efectivo de la ejecución de la estrategia y las operaciones, y a la mejora continua del Plan de Acción de una TPC, de su eficiencia, eficacia, efectividad, seguridad, protección y sostenibilidad.

La necesidad de herramientas de seguimiento y control de la estrategia y las operaciones se basa en la idea introducida por Harrington, impulsor de la mejora de calidad, de que la medición es la primera etapa que conduce al control: “*si algo no se puede medir, no se puede comprender; si no se puede comprender, no se puede controlar; y si no se puede controlar, no se puede mejorar*”. En la actualidad las TPCs disponen de complejos conjuntos de indicadores de rendimiento desarrollados a nivel interno para controlar su operativa. Estos, en general poco sistematizados, dificultan el *benchmarking* entre terminales. En cuanto a la Gestión Estratégica, son pocas las terminales que se sirven de alguna herramienta sistematizada de implementación, seguimiento y control de la estrategia.

Conocidos los puntos débiles de la gestión operativa mediante el seguimiento y control de las operaciones con la herramienta adecuada, para una reducción del coste del paso del contenedor por la terminal y un incremento del volumen de operaciones derivado de la satisfacción del cliente, es necesario adecuar los recursos de forma que se logren procesos eficientes que no supongan cuellos de botella para la actividad de la terminal mediante la identificación y posterior implementación en el Plan de Acción de la terminal de iniciativas e ideas de mejora.

Así, las innovaciones de gestión que se proponen para terminales portuarias de contenedores son, como herramienta de Gestión Estratégica, el Cuadro de Mando Integral y, desde una perspectiva más operativa, el *Container Terminal Quality Indicator* (CTQI) Stan-

dard para la gestión de la calidad de las operaciones mediante un modelo de medición del rendimiento.

### 6.2.1. Cuadro de Mando Integral (CMI)

El **Cuadro de Mando Integral (CMI)** o *Balanced Scorecard* (BSC) es una completa herramienta de Gestión Estratégica que permite traducir la estrategia de la organización en acciones concretas impulsando su desempeño y posibilitando su seguimiento y control gracias a un sistema de medición del rendimiento de los Objetivos Estratégicos que facilita la toma de decisiones estratégicas.

Este modelo de gestión fue presentado por primera vez en 1992 en el artículo “The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance” publicado en la revista *Harvard Business Review* por Robert Kaplan y David Norton, sus creadores, quienes habían detectado que los sistemas existentes hasta el momento, basados en el análisis financiero, eran insuficientes para controlar la realidad de una empresa en el nuevo marco productivo que imponía la era de la información (Kaplan y Norton, 1992).

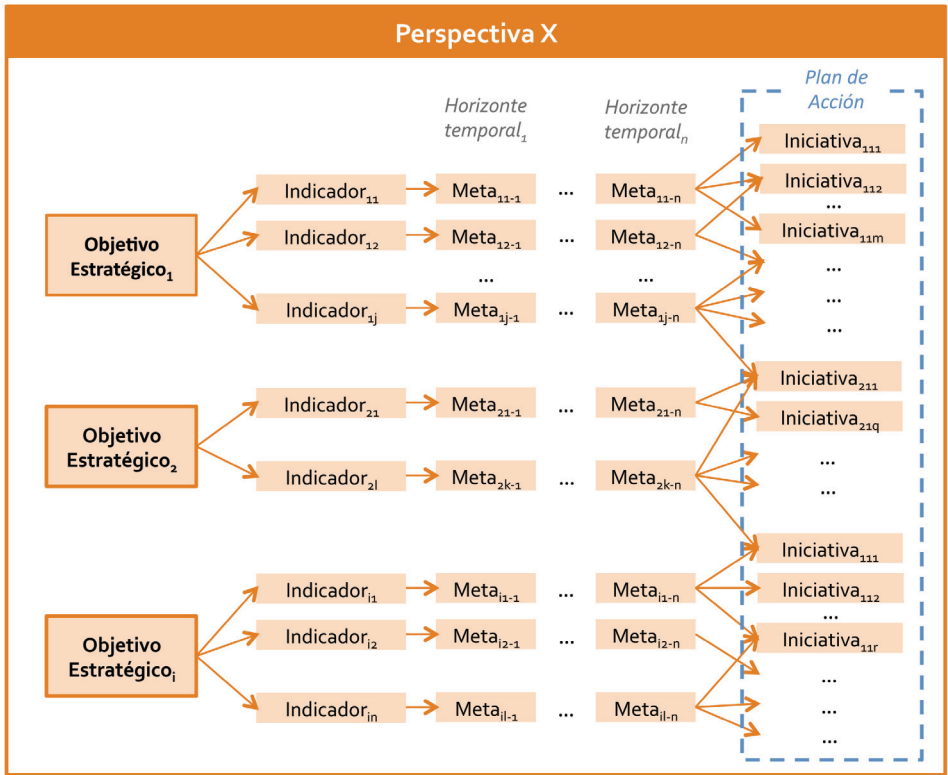
El CMI extiende el conjunto de objetivos que controlan las empresas más allá de los financieros y operacionales empleados tradicionalmente, convirtiéndose en el sistema ideal para incorporar objetivos estratégicos pertenecientes a otras categorías como la social y la medioambiental y abarcar, de forma equilibrada, los tres pilares del Desarrollo Sostenible. Con este fin, el CMI contempla la actividad empresarial desde diferentes perspectivas, normalmente cuatro: la financiera, la del cliente, la interna o de procesos, y la de aprendizaje y crecimiento o de recursos, clasificadas en perspectivas palanca y perspectivas resultados.

Las **perspectivas** palanca son la de recursos y la de procesos. Mientras la primera alinea la estrategia con los activos de la empresa, sobre todo con los intangibles —el capital humano, organizativo y de la información—, la segunda reúne los procesos internos creadores de valor. Estas dos impulsan la obtención de resultados en las perspectivas del cliente y la financiera. La perspectiva del cliente recoge la proposición de valor diferenciada que la empresa oferta y la financiera contempla los objetivos de los accionistas de la empresa y equilibra los intereses a corto y largo plazo.

Además de proporcionar una visión global del negocio, el CMI exige que cada **Objetivo Estratégico** definido dentro de cualquiera de las perspectivas mencionadas anterior-

mente vaya acompañado de uno o varios **indicadores** que permitan expresarlo en términos cuantitativos y fijar unos valores a alcanzar en diferentes horizontes temporales, también llamados **metas**, establecidos de acuerdo con los resultados del diagnóstico sobre el que se basa la estrategia de la empresa. Para su consecución, cada Objetivo Estratégico debe tener asignada al menos una **iniciativa** estratégica, aunque esta puede contribuir simultáneamente a la consecución de más de un objetivo. El conjunto de iniciativas estratégicas correspondientes a todos los Objetivos Estratégicos constituye el Plan de Acción. Esta estructura queda reflejada en la Figura 27.

Figura 27. Estructura del CMI: árbol de Objetivos Estratégicos, indicadores, metas e iniciativas

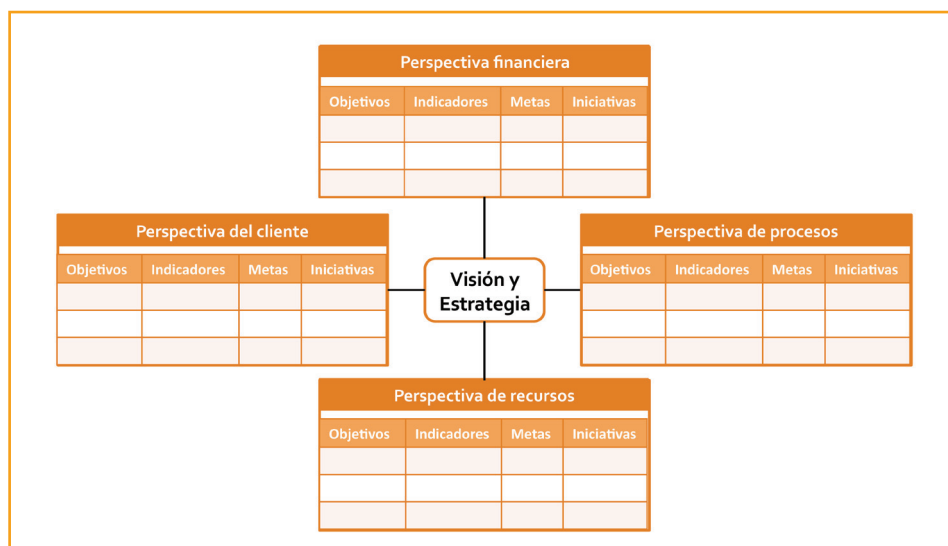


Fuente: Fundación Valenciaport

La estructura del CMI permite realizar un seguimiento continuo de la evolución de cada indicador, y de este modo y comparándolo con su meta, conocer el impacto que las iniciativas están teniendo en la consecución del Objetivo Estratégico en cuestión, detectar deficiencias y corregirlas, focalizando los esfuerzos en aquellos objetivos incumplidos mediante la implementación de nuevas iniciativas alineadas con la estrategia y la redefinición de las existentes cuando sus efectos no son los esperados, por no resultar eficaces o ser menos eficientes que otras. Asimismo, esta estructura facilita la toma de decisiones referentes a la reformulación del resto de elementos estratégicos: de los Objetivos Estratégicos cuando se cambia de estrategia; de las metas cuando se observan desviaciones en las tendencias del diagnóstico en base al cual estaban fijadas; y de los indicadores cuando se detectan carencias para reflejar fielmente la intención de los objetivos.

El CMI recopila toda la información correspondiente a sus elementos (objetivos, indicadores, metas e iniciativas) en unas tablas conocidas como el Cuadro de Mando Integral propiamente dicho o tablero del CMI. Más allá del modelo de Gestión Estratégica, este concepto también se refiere al conjunto de catálogos que recopilan y ordenan en función de las perspectivas los Objetivos Estratégicos, los indicadores con los que estos van a ser medidos, sus metas y las iniciativas a ejecutar en cada caso (Figura 28). Estos cuadros son un importante instrumento de síntesis y control que permite a la empresa conocer y realizar un seguimiento de la evolución de la estrategia. Para garantizar el buen funcionamiento de la herramienta e involucrar a la organización, deben definirse responsables de la consecución de los elementos clave del CMI, es decir, de las Líneas Estratégicas, de los Objetivos Estratégicos, de los indicadores y de las iniciativas.

Figura 28. El Cuadro de Mando

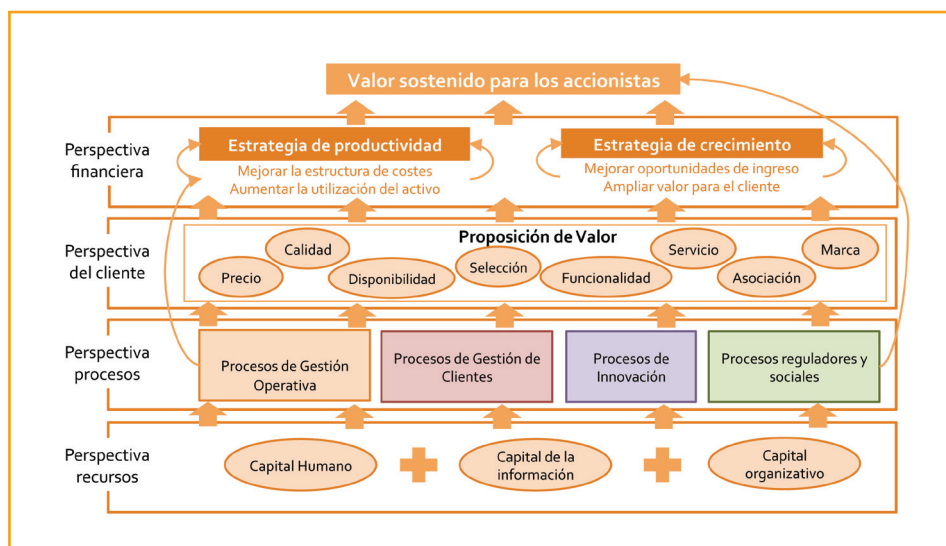


Fuente: Niven (2003)

Pese a la segregación de los Objetivos Estratégicos en perspectivas, el CMI recalca la importancia de las relaciones causa-efecto entre ellos, ya que para dirigir una empresa de forma proactiva hay que actuar sobre las causas y no sobre las consecuencias. Por ello, las tablas del Cuadro de Mando Integral resultan insuficientes para comprender la estrategia y requieren de la visión general que proporciona otro de los instrumentos del CMI: el Mapa Estratégico. Un Mapa Estratégico es una representación visual de la estrategia que sintetiza en una sola página cómo se integran y combinan los Objetivos Estratégicos de las distintas perspectivas, permitiendo determinar las relaciones que vinculan los valores de los diferentes indicadores diseñados para controlar los Objetivos Estratégicos y facilitando la interpretación lógica de resultados. Una correcta identificación de estas relaciones de dependencia es clave para determinar cómo se deben gestionar los procesos creadores de valor y los activos (objetivos de las perspectivas palanca de procesos y de recursos, respectivamente) para alcanzar las metas establecidas en las perspectivas financiera y del cliente que son las que fijan el rumbo hacia el que se dirige la empresa: su Visión. Esto hace que los Mapas Estratégicos hayan pasado a ser por sí mismos un potente instrumento de gestión. La Figura 29 representa la naturaleza de un Mapa Estratégico.



Figura 29. Mapa Estratégico genérico



Fuente: Kaplan y Norton (2004)

Con el objetivo de dar soporte al tablero del Cuadro de Mando Integral y a los Mapas Estratégicos, empresas de *software* y consultoras han empezado a desarrollar herramientas informáticas basadas en este modelo. Las soluciones *software* de CMI facilitan a la empresa el control monitorizado y la comunicación tanto de la estrategia como del estado actual de los Objetivos Estratégicos, pero en ningún caso son útiles para la formulación de la estrategia a ninguno de sus niveles. Igualmente, el CMI es solo una herramienta de gestión que no tiene sentido por sí misma; constituye el complemento perfecto para la Planificación Estratégica porque mediante sus instrumentos ofrece aquello de lo que esta carece: recursos y procedimientos para gestionar, controlar y comunicar la estrategia.

El CMI ayuda a la Planificación Estratégica en la fase de su implementación pero también en su posterior evaluación y perfeccionamiento, a lo largo de todo el proceso de ejecución de la estrategia, identificando las desviaciones existentes entre lo que se está consiguiendo y lo que se pretendía conseguir y señalando dónde actuar para corregirlas. Es decir, el CMI proporciona la estructura y el lenguaje adecuados para que la mejora

en la actividad sea efectiva. La Figura 30 representa cómo se integran el proceso de Planificación Estratégica y el CMI.

Figura 30. Integración de la Planificación Estratégica y el Cuadro de Mando Integral



Fuente: Fundación Valenciaport

De hecho, generalmente los Planes Estratégicos fracasan por dos razones: por tener una estrategia mal formulada y a causa de su pobre implementación. Salvada la primera de las causas gracias al proceso de Planificación Estratégica descrito en el Capítulo 2, que desarrollado correctamente reduce al mínimo las posibilidades de fracasar al formular la estrategia, según la revista *Fortune*, en la mayoría de los casos (aproximadamente 70%), el problema real no es una mala estrategia sino una mala ejecución de la misma; en los años ochenta se calculaba que “menos del 10% de las estrategias formuladas correctamente son ejecutadas efectivamente” (Kiechel, 1982). Según consultores de todos los ámbitos este dato sigue siendo cierto en la actualidad.

El CMI previene los principales errores que conducen a una mala ejecución de la estrategia como el pobre seguimiento y control del plan establecido o el escaso conocimiento y comprensión del mismo porque, de acuerdo con sus creadores, clarifica y traduce la estrategia a términos operativos, permite la planificación y el establecimiento de un conjunto de Objetivos Estratégicos alineados con el Desarrollo Sostenible que integran los recursos disponibles, promueve la reflexión y el *feedback* estratégico, facilita la comunicación de la estrategia a todos los niveles así como el aprendizaje y la formación, y lidera el compromiso de la organización.

Los beneficios del Cuadro de Mando Integral tienen un interés mayor, si cabe, para las terminales portuarias de contenedores. La estrecha relación existente entre Objetivos Estratégicos e iniciativas posibilita que estas se integren en la actividad de la terminal desde su estrategia corporativa como empresa, pero que además se consideren en las decisiones que se toman a diario. Esta característica es especialmente importante para las TPCs debido a la naturaleza operativa de gran parte de sus decisiones. El CMI permite a las terminales alinear la planificación de sus operaciones con la estrategia al traducir los Objetivos Estratégicos en objetivos de procesos y asignar recursos de una forma más equilibrada y coherente con la estrategia planteada, priorizando las operaciones y las iniciativas, gracias al seguimiento permanente de un conjunto de indicadores estratégicos, conectados y calculados a partir de su sistema de indicadores operativos clave, que proporcionan la información necesaria para anticiparse a posibles problemas y actuar de una manera proactiva en la consecución de los objetivos de la terminal.

Asimismo, en el caso de una TPC, la consideración simultánea de cuatro perspectivas permite que la terminal se planifique y se gestione considerando todos sus activos como parte fundamental de los procesos creadores de valor que buscan la satisfacción del cliente, en el sentido más amplio del concepto cliente que incluye al entorno y la sociedad bajo una concepción sostenible de su actividad. De este modo, facilita la introducción de criterios ambientales y sociales en los procesos de toma de decisiones que respaldan su planificación y gestión, mejorando la integración de la TPC en el entorno sin olvidar la misión de cualquier empresa privada: generar beneficios para los accionistas.

Por sus evidentes ventajas, actualmente el Cuadro de Mando Integral está considerado como una de las 75 ideas más influyentes del siglo XX. A principios del siglo XXI, el 50% de las empresas incluidas en la lista *Fortune 1000* había implementado esta herramienta de gestión (Niven, 2003). Sin embargo, la utilización del CMI no es una práctica extendida entre terminales portuarias de contenedores para llevar a cabo su Gestión Estratégica, por lo que la implantación del Cuadro de Mando Integral en TPCs puede considerarse una innovación de gestión.

(NOTA: *Fortune 1000* es una referencia a la lista publicada por la revista de negocios americana Fortune. Este *ranking* recoge las 1000 mayores empresas americanas en términos de ingresos.)

### **6.2.1.1. Implementación del CMI en TPCs**

A continuación se presentan las directrices para la aplicación del Cuadro de Mando Integral en una terminal portuaria de contenedores; estas son producto del proyecto MASPORT, desarrollado en el marco del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011. Entre otros resultados, este proyecto ha llevado a cabo uno de los primeros intentos a nivel mundial de aplicación de un Cuadro de Mando Integral a una TPC, basándose en las publicaciones genéricas referentes a la herramienta, su implementación y su uso (Kaplan y Norton, 1997, 2004, 2005); en Estrada (2007) y Martín-Soberón (2010), trabajos técnicos, que aunque no publicados, versan, respectivamente, sobre la adaptación de esta herramienta a puertos y terminales portuarias de contenedores; y en el *know-how* de gestores de terminales de contenedores en el Puerto de Valencia, TCV Stevedoring Company S.A. y MSC Terminal Valencia S.A. (ambas empresas participantes en el proyecto).

#### **Metodología**

Debido a la gran cantidad de información de que disponen las terminales en lo referido al control de sus operaciones, comparada con la menor disponibilidad de información de naturaleza estratégica, y al amplio número de estudios sobre indicadores de rendimiento (*Performance Indicators*, PI) e indicadores clave de rendimiento (*Key Performance Indicators*, KPI) que se han llevado a cabo en terminales de todo el mundo, en su mayoría aplicados a casos concretos para resolver problemas puntuales, en MASPORT se propuso una metodología de implementación del Cuadro de Mando Integral alternativa a la convencional, que toma como punto de arranque el estudio de los indicadores de Gestión Operativa utilizados por las terminales para, a partir de ellos, razonar y deducir el resto de elementos del CMI. Así, en un primer momento, la metodología se centra en el estudio del conjunto de indicadores que las terminales manejan con la intención de traducirlos en Objetivos Estratégicos. Posteriormente se contrastan los objetivos deducidos a partir de indicadores con la estrategia de la TPC, y al conjunto de los mismos se añaden aquellos necesarios para contemplar la totalidad de la estrategia, completando las cuatro líneas estratégicas introducidas en el Capítulo 2 (Excelencia Operativa, Desarrollo y Modernización, Crecimiento e Integración con el Entorno), e incluyendo Objetivos Estratégicos de naturaleza no operacional ni económica. Una vez la propuesta de Objetivos Estratégicos puede considerarse definitiva, para cada objetivo se determinan los indicadores necesarios para que quede fielmente recogido su propósito, obteniendo un sistema de indicadores más reducido y manejable, pero a la vez más adecuado en cuestiones de

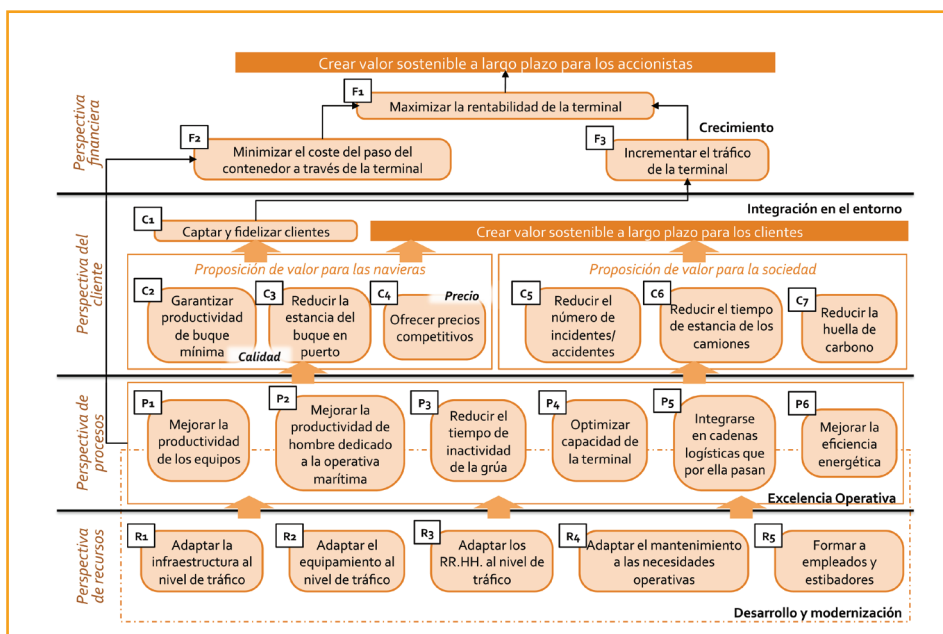
Gestión Estratégica, que los que inicialmente sirvieron como punto de partida de la adaptación del CMI. La deducción del resto de elementos estratégicos se realiza en el orden convencional: en cascada según la Figura 30.

## Resultados

### Objetivos Estratégicos y Mapa Estratégico de una TPC

Uno de los resultados de la aplicación de la metodología anterior es la propuesta de Mapa Estratégico genérico para una TPC pública o *common user terminal*, que recoge la Figura 31. En él se ordenan y conectan los 21 Objetivos Estratégicos que describen la estrategia de una terminal de este tipo: 5 de la perspectiva de recursos, 6 de la de procesos, 7 de la del cliente y 3 de la financiera.

Figura 31. Propuesta de Mapa Estratégico para una TPC



Fuente: Monfort et al. (2011c)

Cabe destacar que durante el proceso de Planificación Estratégica que lleva al diseño de un Cuadro de Mando Integral y su Mapa Estratégico asociado influyen una gran cantidad de factores (el tamaño y capacidad de la terminal, el tipo de tráfico al que atiende –origen/destino en el *hinterland* terrestre o transbordo–, el número de clientes que en ella operan, los equipos que se emplean en la manipulación de contenedores, etc.) y que por lo tanto, los resultados de MASPORT aquí expuestos deben ser objeto de una adaptación al caso específico de cada terminal con anterioridad a su utilización aplicada, pudiendo variar considerablemente para adecuarse a sus características y a su estrategia particular.

### ***Indicadores y metas de una TPC***

Una vez formulada la propuesta de Objetivos Estratégicos, teniendo en cuenta el estudio previamente realizado de indicadores de Gestión Operativa, se diseñaron indicadores para cada uno de los Objetivos Estratégicos formulados de manera que estos pudiesen quedar cuantificados mediante metas. De este modo, se obtuvo un conjunto de 42 indicadores (Tabla 7), lo que equivale a un promedio de 2 indicadores por objetivo, con un mínimo de uno y un máximo de 5 indicadores por objetivo.

Este sistema resulta cómodo y fácil de manejar para la Gestión Estratégica de una terminal cuya estrategia esté formada por estos 21 Objetivos Estratégicos, pero es insuficiente para llevar a cabo la Gestión Operativa. Para la gestión de las operaciones de una TPC hace falta un sistema de indicadores mucho más numeroso, aunque estructurado, como el que propone el *Container Terminal Quality Indicator* (CTQI) en el siguiente apartado.

Ya sea para la Gestión Estratégica o para la Gestión Operativa, que también se articula en una serie de Objetivos Operativos, todo indicador requiere una ficha que recoja su regla de cálculo, sus metas en diferentes horizontes temporales, la unidad en que queda expresado, la fuente origen de sus datos, la periodicidad de cálculo, el responsable del mismo, el Objetivo al que representa, el peso en la consecución del Objetivo, las iniciativas que pueden afectar al valor del indicador, y su evolución y metas, entre otros. La Figura 32 muestra un ejemplo de ficha de indicador.

Tabla 7. Propuesta de indicadores para cada objetivo estratégico

Objetivo		Indicadores	
F1	Maximizar la rentabilidad de la terminal	IND-1	Beneficio de la terminal
		IND-2	Rentabilidad económica o <i>Return on asset</i> (ROA)
F2	Aumentar el tráfico de la terminal	IND-3	Tráfico anual (TEUs)
F3	Minimizar el coste del paso del contenedor a través de la terminal	IND-4	Coste del paso de un contenedor por la terminal
		IND-5	Coste Bruto de Total de Jornales contratados por Número de Movimientos en la Operación Marítima
		IND-6	Coste total medio del mantenimiento por contenedor
		IND-7	Coste total medio de la energía por contenedor
C1	Captar y fidelizar clientes	IND-8	Número de navieras que operan en la terminal
		IND-9	Número de servicios por naviera
		IND-10	Servicios mensuales
C2	Garantizar una productividad de buque mínima	IND-11	Tamaño medio de escala
		IND-12	Productividad de buque por hora atracado
		IND-13	Productividad de buque por hora bruta
C3	Reducir la estancia del buque en puerto	IND-14	Calidad de servicio a buque
		IND-15	Tiempo de espera fondeado
		IND-16	Tiempo de servicio
C4	Ofrecer precios competitivos	IND-17	Tiempo debido a servicios técnico-náuticos
C5	Reducir el número de incidentes/ accidentes	IND-18	Precio medio por contenedor
C6	Reducir el tiempo de estancia de los camiones	IND-19	Número de accidentes e incidentes en la terminal por miles de contenedores
C7	Reducir la huella de CO <sub>2</sub>	IND-20	Tiempo de Estancia Medio de los camiones externos en Recepción y Entrega
P1	Mejorar la productividad de los equipos	IND-21	Emisiones de CO <sub>2e</sub> por contenedor
		IND-22	Productividad bruta de las grúas de muelle
P2	Mejorar la productividad de hombre dedicado a operativa marítima	IND-23	Productividad neta de las grúas de muelle
		IND-24	Número de movimientos por jornal (contratado)



Objetivo		Indicadores	
P3	Reducir el tiempo de inactividad de la grúa	IND-25	Horas de demoras propias respecto horas de grúa contratadas en carga y descarga de buques
		IND-26	Horas de demoras ajenas respecto horas de grúa contratadas en carga y descarga de buques
P4	Optimizar la capacidad de la terminal	IND-27	Tráfico anual por superficie de patio
		IND-28	Tráfico anual por metro de muelle
P5	Integrarse en las cadenas logísticas que por ella pasan	IND-29	Número de empresas con las que la terminal tiene relaciones comerciales
		IND-30	Número de empresas de la Comunidad Portuaria con las que la terminal mantiene una comunicación permanente
P6	Mejorar la eficiencia energética	IND-31	Consumo energético equivalente de la terminal en el desempeño de sus actividades por miles de contenedores
R1	Adaptar la infraestructura al nivel de tráfico	IND-32	% de ocupación medio anual de la línea de atraque
		IND-33	% de ocupación medio anual del patio de almacenamiento
		IND-34	Movimientos de contenedores de grúa de muelle
		IND-35	Utilización de las grúas de muelle
R2	Adaptar los equipos al nivel de tráfico	IND-36	Movimientos medios de contenedores de RTG anuales
		IND-37	Movimientos medios de contenedores de RS anuales
		IND-38	Movimientos medios de contenedores de cabezas tractoras anuales
R3	Adaptar los RR.HH. al nivel de tráfico	IND-39	Tamaño medio de la mano
R4	Adaptar el mantenimiento a las necesidades operativas	IND-40	Relación entre tiempo de mantenimiento correctivo respecto tiempo de mantenimiento preventivo
R5	Formar a empleados y estibadores	IND-41	Inversión en formación por contenedor
		IND-42	Tiempo de formación del personal fijo

Fuente: Fundación Valenciaport

Figura 32. Ejemplo de Ficha de Indicador

Indicador: Tráfico en TEU anual		Código: IND-2				
Definición: Número de TEU cargados o descargados por las grúas de muelle	Unidades:	TEU/año				
	Responsable:	Dir. Operaciones				
Regla de cálculo: Tráfico marítimo de la terminal en TEU en un año ( <i>throughput</i> )	Fuente:	TOS				
	Periodicidad:	Mensual				
	Peso en Objetivo (%):	100				
Objetivo Estratégico vinculado: Aumentar el tráfico de la terminal (F2)						
Iniciativas vinculadas: ISN05, ISN13						
Evolución y metas:						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Evolución:	700.000	715.000	...			
Meta:	-	Δ 3%	Δ 3,5%	Δ 3,5%	Δ 3,75%	Δ 4%
Diferencia		6.000				

Fuente: Fundación Valenciaport

### Iniciativas estratégicas de una TPC

Finalmente, para facilitar la formulación del Plan de Acción, dentro del Proyecto MAS-PORT se propuso un listado no exhaustivo de 25 iniciativas estratégicas obtenidas del estudio de las soluciones que actualmente están siendo adoptadas por terminales de todo el mundo para mejorar su rendimiento operacional, incrementar su seguridad y protección y contribuir a la sostenibilidad ambiental. En dicho listado, resumido en la Tabla 8, las iniciativas se presentan clasificadas en estratégicas, tácticas y operacionales atendiendo a su horizonte de planificación y gestión (recuérdese el Capítulo 4).

Tabla 8. Propuesta de iniciativas estratégicas

Nivel de Gestión	Iniciativas
Estratégico	<p><b>TPC como sistema:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatización de la terminal</li> <li>• Desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo que trabaje 24/7</li> <li>• Implantación de un sistema de gestión energética (SGE)</li> <li>• Promoción y facilitación de formación específica para cada puesto de trabajo</li> </ul> <p><b>Subsistema de almacenamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización de la configuración del patio</li> <li>• Electrificación de los equipos de patio</li> <li>• Implantación de sistemas de ahorro de combustible</li> </ul> <p><b>Subsistema de recepción y entrega:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Separación de la puerta de entrada y salida de la terminal</li> <li>• Automatización de la puerta de entrada</li> <li>• Electrificación de los equipos de recepción y entrega</li> <li>• Implantación de sistemas de ahorro de combustible</li> <li>• Aplicación útil del Levante “sin papeles” y de la reserva de llegada del contenedor</li> <li>• Implantación del <i>closing time</i></li> </ul> <p><b>Subsistema de interconexión:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantación de sistemas de ahorro de combustible</li> </ul>
Táctico	<p><b>TPC como sistema:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación del número óptimo de equipos para asegurar una operativa eficiente y continuada</li> </ul> <p><b>Subsistema de carga y descarga:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reasignación inmediata de manos a otros buques</li> <li>• Asignación del puesto de atraque disponible más cercano al lugar de apilado</li> </ul> <p><b>Subsistema de almacenamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pooling de RTGs o SCs</li> <li>• Optimización del tiempo de estancia de los contenedores en patio</li> <li>• Optimización del uso del patio (ubicación de las áreas de almacenamiento)</li> <li>• Realización de <i>housekeeping</i></li> <li>• Incremento de la altura de pila</li> </ul> <p><b>Subsistema de recepción y entrega:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación inflexible del <i>closing time</i></li> </ul> <p><b>Subsistema de interconexión:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pooling</i> de plataformas</li> </ul>
Operativo	<p><b>Subsistema de interconexión:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asignación de órdenes a equipos de forma que se optimicen los recorridos</li> </ul>

Fuente: Fundación Valenciaport

Cuando una terminal decida adoptar una de las iniciativas anteriores o cualquier otra alineada con su estrategia, tras el estudio de viabilidad correspondiente, deberá diseñar un plan de implementación de la misma que, con el fin de facilitar el seguimiento y control, tendrá que ser incluido en la herramienta del Cuadro de Mando Integral a modo de resumen en una ficha como la de la Figura 33, que describe una de las iniciativas seleccionadas por las dos TPCs que participaron en MASPORT: la Optimización de la configuración del patio.

Figura 33. Ejemplo de Ficha de Iniciativa

Iniciativa: Optimización de la configuración del patio		Código: INSo7	
<b>Descripción:</b> Esta iniciativa consiste en buscar una configuración de patio óptima, con el propósito de maximizar la capacidad de almacenamiento del patio, evitando remociones y facilitando el mayor rendimiento posible durante la operativa marítima			
<b>Objetivos principales en los que impacta:</b> P4		<b>Responsable:</b> Dirección de Operaciones	
<b>Otros objetivos en los que impacta:</b> C2 y C3		<b>Participantes:</b> Operaciones	
<b>Valoración:</b>			
Prioridad (1 a 3):	3		
Recursos (1 a 3):	3		
Recursos Externos (1 a 3):	3		
<b>Etapas/ duración/ cronograma:</b>			
Etapa	Duración	Fecha inicio	Fecha fin
Única	12	1/1/2012	12/31/2012

Fuente: Fundación Valenciaport

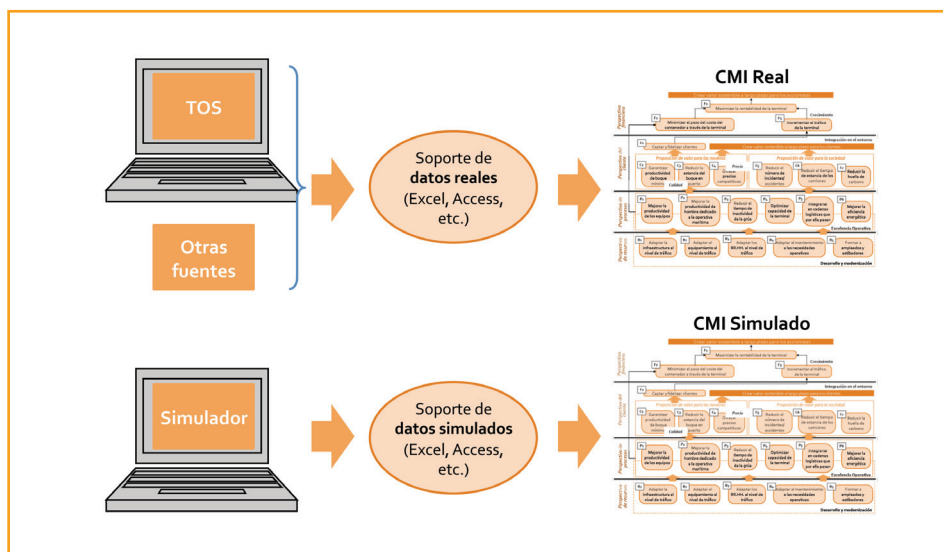
### Conexión del CMI con otras innovaciones

Las iniciativas estratégicas que conciernen a la localización y el *layout* de una nueva terminal, así como las decisiones referentes a los tipos y número de equipamiento a adquirir y al grado de automatización, se implementan durante largos periodos de tiempo, por norma general años, y requieren grandes inversiones financieras. Por este motivo, para

el estudio de su viabilidad, estas y algunas iniciativas tácticas cuyo horizonte temporal e inversión inicial son también significativos necesitan modelos de simulación que permitan reproducir el comportamiento de las mismas mediante una serie de experimentos con un coste muy reducido y en un tiempo mucho menor que el que supondría la realización de estos ensayos a escala real. Así aparece el concepto de CMI Simulado versus el concepto convencional de CMI, o CMI Real (Figura 34).

El CMI Simulado para el cálculo de sus indicadores se alimenta de datos procedentes de simulaciones, en lugar de utilizar datos de series históricas. De este modo, el CMI muestra, por comparación con las metas pre-establecidas, en qué medida las iniciativas simuladas contribuyen al logro de los objetivos estratégicos para los que fueron diseñadas, lo que determina cómo de alineadas están con la estrategia de la terminal y por lo tanto la idoneidad de su implementación, pudiendo evaluarse varias iniciativas de forma conjunta para estudiar la interacción entre ellas y las ventajas de su ejecución agregada. Para ello es necesario que las simulaciones se realicen con un nivel de abstracción tal que permita modelizar operaciones a nivel bloque, simulando incluso la operativa de patio y la interconexión de subsistemas, como se explica en el apartado 6.3.2 del presente Capítulo.

Figura 34. Conexiones del CMI Real vs. conexiones del CMI Simulado



Fuente: Fundación Valenciaport

### 6.2.2. Container Terminal Quality Indicator (CTQI)

Al contrario que el CMI, el *Container Terminal Quality Indicator (CTQI) Standard* es una herramienta especialmente diseñada para terminales portuarias de contenedores. De hecho se trata de un sistema de Gestión de Calidad de Terminales de Contenedores. La iniciativa nace de la necesidad de existencia de un consenso en lo que se mide (definición), en cómo se mide (tiempos, medias) y cuáles son las mejores prácticas que permiten establecer baremos para la comparación, que conduzca a una mejora de la eficiencia en TPCs así como su mayor integración en la Cadena de Suministro; recuérdese la idea introducida por Harrington: “*si no se puede medir, ... no se puede mejorar*”.

La idea surgió en el GIL (Global Institute of Logistics) en 2006, cuando identificó la necesidad de desarrollar un criterio estándar de valoración comparativa fiable para medir la eficiencia y el rendimiento en Terminales de Contenedores. A mediados de 2006, el GIL propuso a la sociedad de clasificación Germanischer Lloyd (GL) el desafío de desarrollar dicho estándar. En enero de 2007, GL y el GIL decidieron crear el Comité de Hamburgo del CTQI, para desarrollar entre todos los miembros y algunos invitados, el texto de la primera versión del “*standard CTQI*” que vio la luz en febrero de 2008 en Hamburgo. Tras ello, se llevaron a cabo algunas encuestas entre cargadores y navieras a nivel mundial.

En la referida fecha, GL junto con el GIL presentaron oficialmente este nuevo e innovador modelo de medición del rendimiento en TPCs (GL, 2008). Germanischer Lloyd presentaba el CTQI como un esquema de certificación por evaluación comparativa, para auditar la operativa de terminales de contenedores globalmente, es decir, que tuviesen el espíritu de compararse en un ámbito global. Las razones que exponían GL y GIL para su desarrollo eran en primer lugar que los puertos y las terminales no tenían un estándar global para la medición de su rendimiento; en segundo lugar los puertos y las terminales son considerados como uno de los eslabones más débiles y menos transparentes de la Cadena de Suministro; y finalmente los usuarios de los puertos y terminales requieren de un sistema de transporte marítimo más fiable que aumente la eficiencia de la Cadena de Suministro.

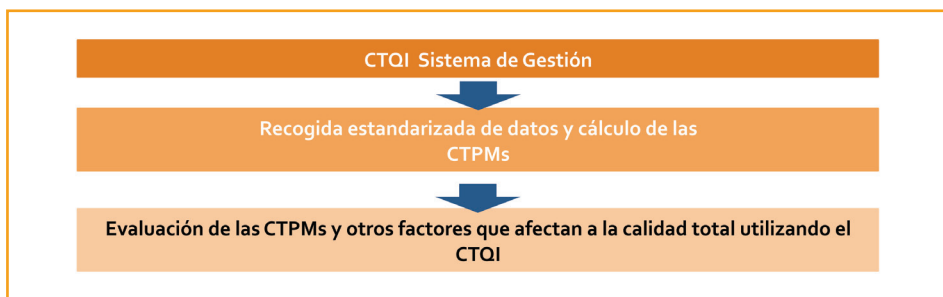
Así, el CTQI es el primer estándar de sistema de gestión de calidad de terminales portuarias de contenedores y persigue la mejora de la eficiencia de estas instalaciones mediante el desarrollo de una cultura de colaboración y progreso entre todos los *stakeholders* o grupos de interés de la cadena logístico-portuaria. El proceso de conformación

del modelo fue liderado por las referidas instituciones y en el mismo colaboró una cualificada representación de los operadores relacionados con el tráfico contenedorizado, en el que la Fundación Valenciaport tuvo ocasión de participar (Sapiña, 2007). Algunos participantes fueron: ESC (European Shippers Council); HPA (Hamburg Port Authority); IAPH (International Association of Ports and Harbors); ITMMA Amberes (Institute of Transport and Maritime Management Antwerp); ESPO (European Sea Ports Organisation); PSA, HPH, MSC-Eurogate; HHLA; American Terminals, etc.

La filosofía básica del modelo ofrece a la terminal una herramienta para medir su rendimiento, aplicar buenas prácticas y poder compararse con las mismas, así como poder mejorar su eficiencia continuamente: uno de los eslóganes más repetidos por sus autores es el de “*CTQI: more than a way to PROVE, it is a way to IMPROVE*”. Para ello el CTQI adopta una metodología que se estructura en cuatro grandes bloques o áreas de trabajo –(1) sistema de gestión, (2) factores internos, (3) factores externos y (4) evolución del rendimiento–, más una quinta de certificación o evaluación externa, e incluye en su última versión hasta 86 indicadores o mediciones de rendimiento, convenientemente definidos, siete de ellos bajo la categoría de indicadores clave –KPI, “*Key performance Indicators*”–, que son objeto de comparación con los CTQI *Standard*, determinados a través del correspondiente ejercicio de *benchmarking*.

De esta forma el CTQI *Standard* establece un Sistema de Gestión de la Calidad auditable para TPCs. Se trata de una Certificación de Calidad en eficiencia o productividad de terminales de contenedores que acredita su capacidad para, de forma estable, proveer servicios de alta calidad combinados con una actitud organizativa en busca de la mejora continua. La auditoría se basa, por un lado, en el análisis estadístico de los llamados KPIs, más los llamados “otros indicadores” aceptados para un adecuado *benchmarking* internacional y, por otro, en la verificación de los componentes del sistema de gestión de la terminal. Esta estructura permite la evaluación del CTQI *Standard* desde el enfoque de análisis de riesgos pero teniendo en cuenta otros problemas relevantes que pueden afectar a la operación de una terminal. Para ello, el CTQI *Standard* consta esencialmente de tres módulos cuyo funcionamiento ilustra la Figura 35.



Figura 35. Funcionamiento del CTQI *Standard*

Fuente: GL (2008)

- *Container Terminal Quality Indicators (CTQI)*, que procura indicadores derivados del análisis cuantitativo de la terminal a partir de los *Container Terminal Performance Measurements (CTPMs)*, así como de otros aspectos relevantes. Estos indicadores se dividen en factores internos y externos. Los factores internos son aquellos cuyo control directo o decisión para adoptarlos se encuentra en manos del operador de la terminal, como la superestructura, la gestión de la recepción y entrega, la comunicación, la formación, etc. Los factores externos no están bajo el control exclusivo del operador de la terminal, sino que dependen de los *stakeholders* de la cadena logística, aunque este, el operador, tiene poder de influencia en ellos mediante la negociación con las partes interesadas. Un ejemplo de factores externos serían los trámites administrativos.

CTQI ofrece una medida de calidad de la competencia de la plantilla, el equipamiento y los procesos. La puntuación global del CTQI (%) se determina a partir de Tablas Maestras del CTQI y varía en un rango comprendido entre 0 (operativa de baja calidad y alto riesgo de retraso) y 100 (operativa de alta calidad y bajo riesgo de retraso). La ponderación de la evaluación de los indicadores depende del reparto modal del tráfico del *hinterland* de la terminal. El resultado obtenido por cada TPC no es público, pero todas aquellas terminales que acceden a la certificación tienen acceso a tablas comparativas anónimas, que permiten el *benchmarking* por cada magnitud o aspecto, lo cual es por sí solo de enorme utilidad para poder posicionarse según el tipo de terminal.

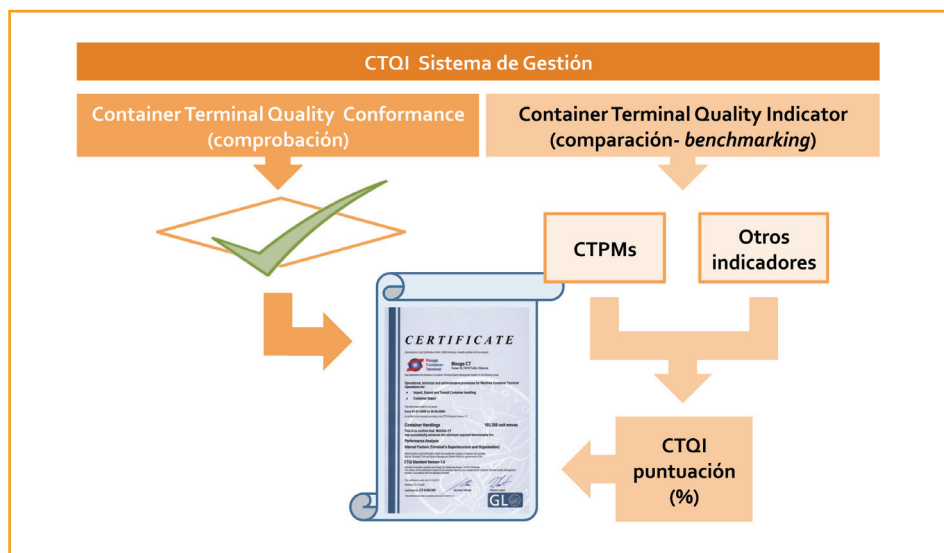
- *Container Terminal Performance Measures (CTPMs)*, utilizado para obtener KPIs de la operativa de una TPC. Estos KPIs se refieren a:
  - la producción global de la terminal, de partes de la terminal o de equipos especializados;
  - la productividad de los elementos o recursos productivos;
  - la utilización de recursos y equipamientos; y,
  - la calidad de servicio ofrecida a los clientes/usuarios de la terminal.
- *Container Terminal Quality Conformance (CTQC)*, que comprueba la conformidad de los elementos del sistema de gestión de obligatoria formulación de acuerdo con los requerimientos del *CTQI Standard*, por ejemplo, en materia de asignación de responsabilidades a nivel interno de la empresa. Los requerimientos del CTQC han sido confeccionados para satisfacer las necesidades de la industria del transporte e incluyen prácticas obligatorias y recomendaciones para una gestión de calidad de la terminal de contenedores. Para la obtención de la certificación, los requerimientos de esta parte del *CTQI Standard* necesitan haber sido incorporados como parte del sistema de gestión y quedar documentados en el manual interno.

Para la obtención de la Certificación del *CTQI Standard* la terminal debe dirigirse a la sociedad de clasificación Germanischer Lloyd; únicamente esta y sus subsidiarios o sus subcontratados pueden llevar a cabo el proceso de Certificación del CTQI. El certificado se concede a organizaciones o partes de las mismas que hayan demostrado previamente durante la auditoría externa que han documentado, implementado y mantenido todos los requisitos del *CTQI Standard* con éxito siguiendo los siguientes pasos:

1. Solicitud al GL, incluyendo petición para la adaptación de las Tablas Maestras del CTQI para la terminal en cuestión si fuera necesario. Esto permite que las condiciones, aspectos o límites que puedan distorsionar o deformar los resultados sean considerados y se trate de evitar su impacto sobre el sistema de valoración de las tablas.
2. Documentación de los requerimientos del *CTQI Standard* en base al Sistema de Gestión CTQI de la organización (manual interno).

3. Implementación del Sistema de Gestión CTQI en la organización. Este paso incluye la recogida de datos durante el periodo de referencia (un año), el cálculo de CTPMs, la cumplimentación de las Tablas Maestras del CTQI y la implementación de los requerimientos del CTQI.
4. Auditorías internas y revisión de la gestión llevada a cabo por la propia organización. Las auditorías internas pueden ser subcontratadas a consultores especializados aunque se recomienda que un responsable interno de CTQI sea el que lleve la carga de las mismas.
5. Aprobación de la auditorías mediante (Figura 36):
  - La demostración a los auditores de GLC de que la recopilación de datos del periodo de referencia y el cálculo de CTPMs se ha llevado a cabo de acuerdo con las normas del CTQI *Standard*, las tablas maestras del CTQI han sido correctamente completadas, la puntuación CTQI ha sido adecuadamente obtenida y de que no existen disconformidades mayores de acuerdo con los requerimientos a implementar según el CTQC;
  - La superación del *benchmarking* requerido para la puntuación del CTQI.
6. Expedición del GLC especificando la terminal certificada y el periodo de certificación.

Figura 36. Proceso de Certificación en el CTQI de una TPC



Fuente: GL (2008)

Este proceso de Certificación del GL concluye dentro de los seis meses siguientes a la finalización del periodo de referencia, es decir, año y medio después del inicio del proceso. Éste plazo de seis meses se reduce con la experiencia adquirida de años anteriores. El siguiente periodo de referencia, para mantener la Certificación, comenzará inmediatamente después del anterior.

El resultado de la Certificación no es el certificado en sí mismo si no que, como ya se ha mencionado, es la implantación de un modelo de medición del rendimiento en TPCs que persigue y garantiza la mejora de la calidad del servicio prestado por estas instalaciones mediante el desarrollo de una cultura de colaboración entre todos los *stakeholders* o grupos de interés de la cadena logístico-portuaria, a la vez que facilita su comparación con otras terminales a nivel internacional.

La terminal CTA del Puerto de Hamburgo, operada por HHLA, o las terminales Con-tecar y Manga del Puerto de Cartagena, operadas por la Sociedad Portuaria Regional

de Cartagena, son ejemplos de terminales certificadas por Germanischer Lloyd (GL) de acuerdo al CTQI estándar.

### 6.3. Innovaciones tecnológicas

En el apartado anterior se describen dos innovaciones aplicadas a la gestión en TPCs: la adaptación del Cuadro de Mando Integral y el CTQI, desarrollado específicamente para terminales. Se trata de herramientas que permiten realizar un seguimiento y control de la estrategia y las operaciones, es decir, actúan en el plano empresarial del negocio.

Existe un segundo grupo de innovaciones clasificadas como tecnológicas porque se trata de herramientas basadas en *software*, redes de datos y equipos informáticos (recursos TICs) pero cuya misión es facilitar la gestión operacional, o sea, el plano específico de la actividad de las terminales. Algunas resultan imprescindibles para el funcionamiento de la terminal, como el TOS y otras se desarrollan e implementan como ayudas para la toma de decisiones, como la simulación o la optimización. En todas ellas son indispensables las tecnologías de la información y la comunicación (TICs), conjunto de equipos y programas informáticos y redes para el tratamiento, registro, almacenamiento, transmisión y difusión de datos.

El de las TICs es un campo en el que las innovaciones son constantes y las nuevas tecnologías sustituyen con rapidez a las antiguas una vez demuestran sus ventajas, pero que por no ser de ámbito específico de aplicación en las terminales de contenedores no se va a desarrollar en más profundidad. La monografía *“La Terminal Portuaria de Contenedores como sistema nodal en la cadena logística”* (Monfort et al., 2011a) dedica un capítulo completo a las TICs en terminales de contenedores.

#### 6.3.1. Terminal Operating System (TOS)

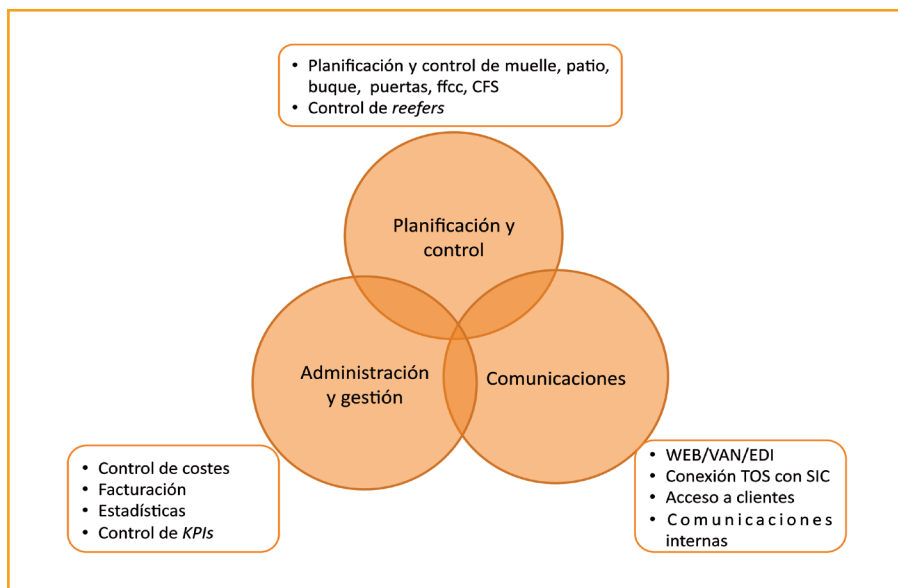
El **Terminal Operating System** (TOS) o, en castellano, Sistema Operativo de la Terminal (SOT) es una herramienta de *software* que se emplea en la gestión de las terminales de contenedores, y que procesa, almacena, recupera, trata y utiliza la información, tanto externa como interna, para desarrollar las funciones que tiene implementadas.

El TOS ha evolucionado con el tiempo, como también lo han hecho muchos otros aspectos y elementos de las TPCs. Pero dado que el TOS puede entenderse como el corazón

de la TPC, pues concentra la lógica de la estrategia, las tácticas y los procesos operativos de la terminal, su evolución ha ido pareja a la de los gestores humanos de las TPCs. De esta forma, no es hasta mediados de los 80 en que aparecen las primeras empresas de desarrollo de TOS, como por ejemplo Cosmos y Navis. Y lo hacen prácticamente desde dentro de las propias TPCs. La complejidad que suponía la gestión operativa, sobre todo por los aumentos de volúmenes de tráfico, obligaba a considerar las también recientes TICs como herramientas útiles, aunque en un principio no iban mucho más allá de la conversión en *software* de aquellos procesos anteriormente manuales, es decir, poco más que una automatización. Las compañías de desarrollo de TOS fueron las que catalizaron un desarrollo de los mismos que incorporaba nuevas doctrinas, metodologías y tecnologías, tales como algoritmos para el almacenaje, para la asignación de recursos, para la planificación de patios y muelles, etc. que superaba a lo que los recursos humanos operativos venían haciendo de forma analítica y manual.

Con carácter general, un TOS tiene tres módulos básicos que trabajan sobre una o varias bases de datos (Figura 37):

Figura 37. Funciones de un TOS



Fuente: Monfort *et al.* (2011a)

- El módulo de **planificación y control de operaciones** puede abordar:
  - La planificación de las operaciones del muelle, es decir, el cálculo de recursos tanto de personal como de maquinaria para la carga y descarga del buque.
  - La planificación de las operaciones del patio para maximizar la capacidad de almacenamiento y optimizar el uso de los equipos.
  - El plan de estiba: optimización de la operación de carga y descarga del buque considerando el plan de escalas (*vessel schedule*), el reparto de los pesos para la estabilidad o la segregación de las mercancías peligrosas.
  - El plan de carga para el ferrocarril optimizando el uso de los recursos propios.
  - La organización de las operaciones de recepción y entrega.
  - El control de la gestión de las puertas terrestres: admisión de camiones externos; órdenes de posicionado; gestión de la documentación, etc.
  - El control centralizado de los equipos de la terminal en tiempo real: seguimiento de cada equipo, de cada contenedor, envío de órdenes de trabajo y recepción de confirmaciones de las órdenes realizadas.
  - La organización y consulta del patio considerando diferentes parámetros como tipo de mercancía (mercancía peligrosa, sobredimensionada, refrigerada, etc.), exportación/importación, vacíos, clientes, etc.
  - El control de los contenedores refrigerados.
  - En el caso de que exista centro de consolidación y desconsolidación de carga, se encarga de gestionar su actividad.
  - La construcción y uso de algoritmos matemáticos para optimizar el empleo de recursos, la utilización de espacios, la reducción del número de remociones y la eliminación de cuellos de botella.
- El **módulo de administración y gestión** es el responsable de analizar la productividad, de hacer la planificación y el control de costes, de la facturación, de la elaboración de estadísticas y del análisis de las mismas. Adicionalmente puede encargarse de la emisión de informes en tiempo real, agilizando la toma de decisiones; del cálculo y control de los KPIs (*Key Performance Indicators* o Indicadores Clave de Rendimiento); de la gestión de reservas y otras relaciones con los clientes.
- El **módulo de comunicaciones** se encarga del intercambio de información de la terminal con otros agentes mediante internet (*IP Web Service*), la red VAN o servi-



cios EDI; del soporte del servicio para gestión de reservas y *packing list*, verificación de planos, itinerarios de llegada, estado de contenedores y *tracking*; da soporte a los requerimientos de información y a la gestión de órdenes de servicio *online* en tiempo real; conecta al TOS con el SIC y permite a los clientes el acceso *online* a la información acerca de buques y contenedores.

Es precisamente este aspecto de las comunicaciones e integración con otros agentes de la cadena uno de los que más evoluciona en los últimos tiempos. Si al empezar el apartado se exponía que inicialmente los TOS se desarrollaban por el interés de los que operaban las TPCs, algo similar sucede con el resto de agentes de la cadena logístico-portuaria, todos ellos queriendo aprovechar los beneficios de las TICs. Pero esos crecimientos inconexos y en muchos casos metodológicamente poco rigurosos, dispersos y asíncronos, llevaron a que la propia optimización de la cadena y de la logística global presionase para la integración de los mismos. En algunos puertos surgieron iniciativas de ventanillas únicas, con diversas orientaciones, con mayor o menor énfasis en los aspectos operativos, aduaneros, logísticos, multimodales, comerciales, etc. La propia evolución tecnológica de las TICs, como los servicios web y otros, fueron permitiendo que los TOS se integrasen en esas ventanillas únicas, buscando el propio provecho de la TPC mediante el intercambio de información con otros agentes. De hecho, en los inicios del siglo XXI los servicios web permitían ya que los sistemas de gestión de datos de cada agente sirviesen directamente para compartir información, sin necesidad de desarrollar nuevos concentradores de datos.

Todo lo anterior se logra a partir del rediseño de los TOS, tendiendo a su desarrollo mediante arquitecturas abiertas de *software*, *hardware* y bases de datos, que facilitan la integración con otros sistemas de otros agentes y con ventanillas únicas.

Pero tan importante son esas arquitecturas abiertas para la conexión con el exterior como para el funcionamiento interno. De hecho, cada vez es más común que el TOS sea un pequeño “core” que trabaja conjuntamente con otras aplicaciones de diversos proveedores. Por ejemplo, en el caso de CTB (Container Terminal Burchardkai, Hamburgo, HHLA), la aplicación central es el TERMINALSTAR (Hamburg Port Consulting GmbH e Institut Für Operations Research Und Management GmbH, 20--?), que interactúa con el CBS (*Container Basis System*, para gestión de patio, de HHLA), SPARCS (para planificación muelle y buque, de Navis, Cargotec Corporation), Kalmar CMS y PDS (*Crane Management System*, para los RMGs y *Position Detection System*, para los SCs, ambos de Kalmar, Cargotec Corporation;

WorldCargo News, mayo 2010). También sería el caso de la Terminal de COSCO en Pireo (PCT, Grecia), donde el TOS es el CATOS (de Total Soft Bank) que interactúa con el *software* de automatización de RMGs de ABB y también con el sistema de Puertas Automáticas (OCR, etc.) de Camco Technologies (WorldCargo News, febrero 2012).

La automatización de las TPCs, en sus diferentes grados, es la que está potenciando fundamentalmente la adopción de TICs, haciendo que el término TOS se amplíe en contenido al tener que englobar cada vez más sistemas y herramientas de TICs que trabajan conjuntamente tanto dentro de la terminal como con el exterior.

También consecuencia de lo anterior es el hecho de que grandes grupos competidores colaboren para el desarrollo de nuevas soluciones que posteriormente todos ellos explotan y con las que compiten en sus mercados matrices. Es el caso de TBA (Grupo Terex, proveedor de simulación, emulación, planificación de TPCs) y Navis (Cargotec Corporation, proveedor de TOS), que colaboran con una emulación de TBA (Govil *et al.*, 2012).

Otra tendencia observada desde 2009, a partir de la crisis económica, es la de una revisión de los TOS por parte de la mayoría de los operadores. Como consecuencia de los enfoques meramente operativos se observa un desplazamiento hacia otros de eficiencia, ya sea en términos de coste-beneficio, energético, medioambiental, etc. Y esto mismo se aplica al propio TOS como producto a comprar, de modo que el TCO (*Total Cost of Ownership*) se convierte cada vez más en el argumento de venta y de comparación, en lugar del puro precio de venta (De Jong, febrero 2012). Los proveedores de TOS asumen y muestran así que la complejidad y dinamicidad se refleja en la propia política comercial de venta de sus productos, buscando no solo una ventaja competitiva económica global sino la garantía de un servicio adecuado a las nuevas demandas para un TOS.

Debido a la importancia estratégica de la selección del TOS y a la idiosincrasia propia de algunos operadores de terminales o incluso de alguna terminal, las soluciones comerciales conviven con las herramientas de desarrollo propio completamente adaptadas a los requisitos particulares de la terminal en cuestión. De hecho algunos TOS del mercado fueron en sus inicios soluciones implementadas por los usuarios, como el Cosmos del Grupo PSA, o el Terminalstar de HPC con INFORM, vinculados a HHLA.

Otros TOS comerciales son el de Navis (Cargotec Corporation), el CATOS de Total Soft Bank, el Jade Master Terminal de Jade Software, el CITOS de Yantai Huadong Soft-Tech,

el Termes de Portel Servicios Telemáticos, T3 de Greenwawe, Copas de Esoware para pequeñas y medianas terminales de contenedores y multimodales, o Logsys para terminales multipropósito (Port Technology International, junio 2010).

### **6.3.2. Simuladores y emuladores**

#### **6.3.2.1. Simulación: definición y clasificación**

Simulación es un término que proviene del latín, “*simulare*”, y la RAE lo define como “*representar algo, fingiendo o imitando lo que no es*” (RAE, 2010).

Como técnica o herramienta de toma de decisiones, “*la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias –dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos– para el funcionamiento del sistema*” (Shannon y Johannes, 1976). Es decir, simular es imitar la realidad con recursos ajenos a la misma, para trabajar sobre dicha imitación imponiéndole unos condicionantes y reglas, y obtener unos resultados sin tener que hacer dicho trabajo sobre el objeto o sistema real.

Antes de continuar, conviene recordar brevemente la estructura de un proceso de toma de decisiones. Aunque no existe un consenso entre autores, todos ellos coinciden en un despliegue más o menos detallado de los siguientes pasos (Koenes, 1995; Viscencio, 2002; Anderson, Sweneey y Williams, 2004):

1. Definición del problema y de los factores que influyen en él.
2. Definición y ponderación de los criterios de decisión.
3. Planteamiento de soluciones.
4. Evaluación de las alternativas.
5. Selección de la mejor alternativa.
6. Aplicación de la solución seleccionada.
7. Evaluación de los resultados.

La simulación se integra dentro de este proceso en el punto 4, a la hora de evaluar las posibles propuestas de solución, facilitando el estudio de la conveniencia de su implementación en base a los criterios de decisión previamente definidos, convirtiéndose en

una herramienta que proporciona información al experto y aumenta su nivel de conocimiento sobre el sistema estudiado, contribuyendo de esa forma al acierto en la toma de decisiones en el ámbito de la planificación y la gestión de las actividades.

La simulación ayuda a tomar la decisión correcta mediante dos vías. Para empezar, permite alcanzar un mayor entendimiento del comportamiento del sistema, detectar las variables más importantes e identificar las relaciones entre las mismas, y por consiguiente diseñar Planes de Acción que mejoren su operación y eficiencia, siendo una de sus aplicaciones el entrenamiento de los recursos humanos encargados de la toma de decisiones. Simultáneamente, a través de la simulación se puede experimentar con nuevas situaciones y dar a conocer el efecto que cambios internos y externos inducen en el funcionamiento del sistema, anticipándose a la formación de cuellos de botella y otros problemas, y permitiendo estudiar la viabilidad y el impacto de un nuevo escenario o la ampliación del sistema desde diferentes perspectivas (económica, ambiental, etc.), sin efectuar pruebas en el entorno real, lo que generalmente implica la movilización de costosos recursos humanos y técnicos. Así, gracias a la simulación se generan importantes ahorros.

Para ello, al igual que otras herramientas de generación y recopilación de información menos sofisticadas, la simulación establece un modelo de relación entre las condiciones de contorno para diferentes escenarios, los *inputs* de la solución planteada (plan de implementación) y los criterios de decisión. Dichos criterios deben estar alineados con los Objetivos Estratégicos de la empresa, si se trata de un proceso de toma de decisiones empresarial, ser específicos y medibles, y resultar en un sistema de indicadores que permita llevar a cabo un análisis multicriterio que determine en qué grado cada solución simulada satisface los criterios definidos, permitiendo seleccionar la alternativa más prometedora de entre todas las planteadas.

Las terminales portuarias normalmente simulan para determinar los efectos que producen en el rendimiento de la terminal los cambios en la gestión operacional ocasionados por la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo. En consecuencia, sus criterios de decisión quedan expresados en forma de un sistema de indicadores de rendimiento operacional.

En lo que al modelo de relación se refiere, la modelización se define como la abstracción de un sistema con el fin de reproducir su comportamiento en condiciones normales y ante cualquier modificación de los parámetros que lo componen. De hecho, un simulador

no es más que un conjunto más o menos complejo de modelos de los elementos que representan el sistema en cuestión y sus capacidades de operación.

Atendiendo a cómo se modeliza la realidad, existen tres tipos de simulación:

1. Simulación física: consiste en la realización de experimentos sobre un modelo material semejante a la realidad, a tamaño real o a escala (maqueta). Esta es de difícil aplicación en TPCs, ya que a tamaño real supondría la duplicidad de muchos recursos, con costes económicos y de tiempo similares a los que supondría trabajar sobre el sistema real, y complicaciones laborales evidentes. La realización de experimentos a escala tampoco es factible.
2. Simulación por analogía: empleada fundamentalmente en electricidad y electrónica, donde tanto el modelo como el objeto real tienen una misma o igual descripción matemática.
3. Simulación matemática: se fundamenta en modelos matemáticos para representar la realidad, ya sean analíticos o computacionales. Es el tipo de simulación más común y a su vez también se puede desagregar en:
  - a. Simulación discreta de eventos: en la que el modelo consiste, generalmente, en objetos o componentes, recursos (que sirven a los objetos), y elementos de control (que determinan el estado de los objetos y de los recursos). Como su nombre indica, estos modelos imitan procesos cuya información se mueve por paquetes; en ellos el estado de las variables cambia de forma discreta en instantes de tiempo separados. Es el modelo idóneo para simular el movimiento individual de los coches en una autopista, por ejemplo. Una variante de la simulación discreta de eventos es la simulación discreta multiagente, en la que los objetos o componentes son conocidos como agentes. Mientras que en la simulación discreta de eventos común los objetos solo tienen elementos de control, en la simulación multiagente los agentes cuentan tanto con elementos de control como con métodos que definen cómo dicha entidad interacciona con los recursos (agente-recurso) y con otros agentes (agente-agente). De este modo, por ejemplo, una simulación multiagente podría simular el comportamiento de una población de animales que interactúan entre ellos.

- b. Simulación continua: resuelve mediante ecuaciones diferenciales la evolución de sistemas continuos o que se comportan como un sistema continuo, no discreto, tales como fluidos, vehículos en una autopista, etc. Se emplea para simular información u objetos que evolucionan de modo continuo, sin saltos ni paquetes tales como un flujo de agua o el flujo global de vehículos de una autopista.
- c. Simulación híbrida: combina la características de las simulaciones discretas y continuas.

A su vez, las simulaciones discretas se pueden desagregar en dos:

- i. Determinista: se conoce de manera exacta la forma del resultado ya que no hay incertidumbre. Además, los datos utilizados para alimentar el modelo son completamente conocidos y determinados. Este tipo de simulación es útil para modelar, por ejemplo, procesos químicos.
- ii. Estocástica: es probabilística, es decir, no se conocen los *inputs* del sistema, sino su probabilidad de ocurrencia y existe por tanto incertidumbre. Las soluciones que aporta también serán de tipo probabilístico, y hay que saber interpretarlas. La simulación estocástica se emplea para simular la gestión de almacenes o colas, entre otros.

Por último, la simulación puede ser estática o dinámica. Se entiende por simulación estática la representación de un sistema para un instante (en el tiempo) en particular o bien para representar un sistema en el que el tiempo no es importante, por ejemplo para la simulación Montecarlo; en cambio, un modelo de simulación dinámica representa a un sistema en el que el tiempo es una variable de interés, como los sistemas de transporte de materiales a lo largo de cadenas de suministro.

### **6.3.2.2. Requerimientos genéricos de una herramienta de simulación para TPCs**

En el caso de las TPCs, la mayoría de las simulaciones desarrolladas son del tipo matemática, discreta, multiagente, estocástica y dinámica. En primer lugar, esto se debe a que en las terminales, como parte de la cadena logística del contenedor, concurren múltiples agentes (Monfort et al., 2011a), tanto del negocio (agentes marítimos, naviera, buque, aduana, Autoridad Portuaria, etc.), como agentes de la propia estructura y operación (estibadores, trabajadores de la terminal, distintos tipos de equipos, etc.), que interactúan

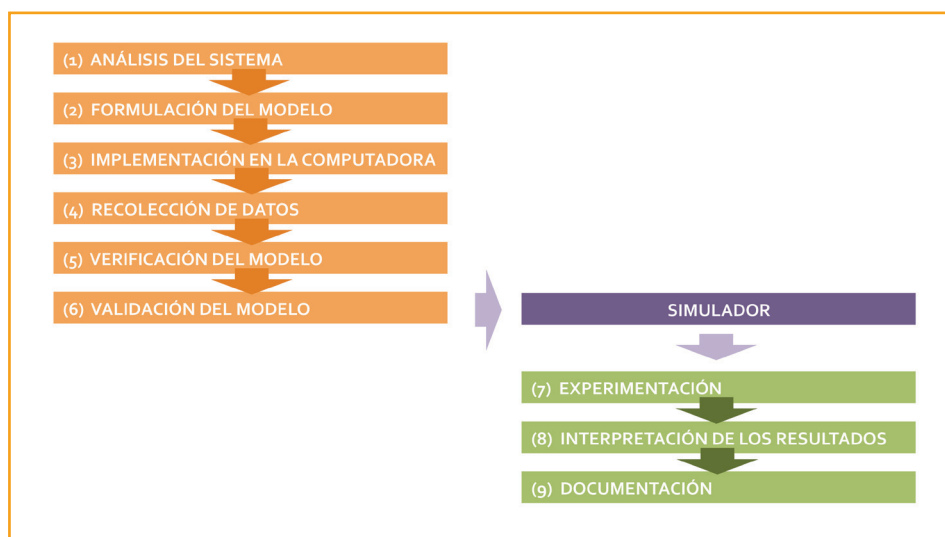
entre sí, lo que, de acuerdo con lo anterior, requiere de modelos matemáticos de tipo discreto multiagente. En segundo lugar, las TPCs trabajan con información referente a las llegadas de los buques, su tiempo de servicio, los promedios de movimientos por hora de equipos y manipuladores, las llegadas de camiones y ferrocarril, etc., que da como resultado distribuciones de probabilidad; esta aleatoriedad propicia que su modelización sea estocástica y no determinista. Por último, la necesidad de que la simulación sea dinámica viene impuesta por la importancia que tiene el tiempo en la gestión de sistemas como las terminales.

Sin embargo, la definición del modelo es solamente una de las etapas del proceso de simulación. De hecho toda simulación debe comenzar con (1) el análisis del sistema real con el fin de determinar la interacción del mismo con otros sistemas, sus restricciones, las variables que dentro de este interactúan y sus interrelaciones, las decisiones a evaluar y los resultados que se esperan obtener. A partir de esta información es posible (2) formular el modelo apropiado para el sistema. En la simulación matemática esta etapa consiste en definir los parámetros que forman parte de él y formular las relaciones básicas entre los mismos para su posterior (3) implementación en la computadora mediante un lenguaje de programación. En paralelo, para este tipo de simulaciones, debe llevarse a cabo la (4) recolección de datos relativos a las variables y los resultados deseados del modelo. Tras la (5) verificación del modelo, que consiste en comprobar que el modelo simulado cumple con los requisitos de diseño para los que se elaboró, la ejecución del modelo empleando los datos recopilados permitirá la (6) validación del mismo, identificando las deficiencias del modelo, es decir, las diferencias entre los resultados arrojados por este y la realidad. Para esta etapa crítica del proceso, en el caso de las terminales suele recurrirse a comprobar la exactitud con que se predicen datos históricos y a la opinión de expertos sobre los resultados de la simulación, aunque existen otros métodos. Solo cuando el modelo ha sido convenientemente validado es posible pasar a la fase de (7) experimentación consistente en generar resultados y en realizar un análisis de sensibilidad de los mismos para su posterior (8) interpretación, lo que en definitiva permitirá la toma de decisiones. Esta interpretación es más complicada en los modelos estocásticos. En la última etapa, (9) documentación, deben generarse tanto informes de tipo técnico con los resultados obtenidos de la simulación, como un manual del usuario que facilite la interacción con el modelo (Coss, 2003).

Este proceso de simulación es muy laborioso y la construcción y validación de un modelo para cada decisión a analizar resulta ineficiente. Por ello suelen utilizarse simuladores

que son herramientas especialmente diseñadas para realizar repetidos experimentos una vez validado el modelo. Para ello, los simuladores cuentan con módulos de edición que permiten cambiar ciertos parámetros del modelo para simular diferentes escenarios, decisiones u horizontes temporales, sin necesidad de repetir las seis primeras etapas del proceso, como refleja la Figura 38.

Figura 38. Proceso de simulación y el simulador



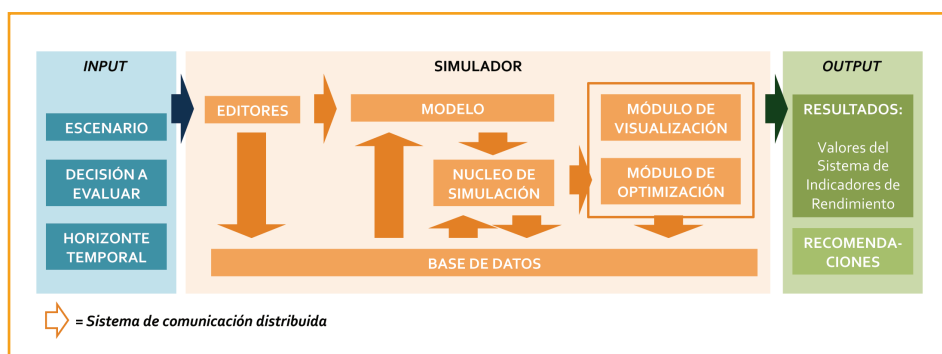
Fuente: Fundación Valenciaport

Así, además de estar formado por los modelos de simulación que describen el comportamiento de los elementos que integran una terminal y sus operaciones, un simulador para TPCs consta de una serie de editores que permiten detallar las características de la terminal y del escenario a simular mediante la definición de una serie de variables. El funcionamiento de estas herramientas, los simuladores, se basa en un núcleo que se encarga de obtener los resultados de los experimentos a partir de la información introducida mediante los editores y la que recibe y manda a su base de datos a través de un sistema de comunicación distribuida de eventos que permite interconectar todos los módulos que componen el simulador. Esta estructura puede complementarse con una herramienta de optimización para estimar las mejores condiciones de explotación en



base al sistema de indicadores que representa los criterios de decisión y un conjunto de módulos adicionales para la visualización de la simulación y los resultados. La Figura 39 representa la arquitectura simplificada de un simulador para TPCs.

Figura 39. Arquitectura simplificada de un simulador para TPCs



Fuente: Fundación Valenciaport

Como ya se ha expuesto con anterioridad, el **modelo** del simulador define cada componente real a representar mediante los parámetros y atributos de sus objetos o componentes: su comportamiento y las modificaciones que producen en el estado de la terminal, sus funciones de distribución de probabilidad relativas a tiempos de operación, tiempos de servicio, tiempo entre fallos, etc. Algunos de los componentes a definir para una TPC son los contenedores, las grúas de muelle, las cabezas tractoras con remolques, los AGVs, las grúas de muelle, los RTGs, los RMGs, los ASCs, los *stradle carrier*, los *reachstacker*, los buques, la puerta marítima, los camiones, la puerta terrestre para camiones, los ferrocarriles y la puerta terrestre para ferrocarril. Las funciones de distribución de los distintos componentes pueden estimarse a partir de medidas de campo en las terminales objeto de estudio, a través de referencias bibliográficas o de la información suministrada por el fabricante del equipo en cuestión. El modelo permite la definición jerárquica entre componentes, pudiéndose construir submodelos estructurados y replicables que afectan a más de un subsistema, por ejemplo para simular operativas de RTGs y cabezas tractoras con remolques.

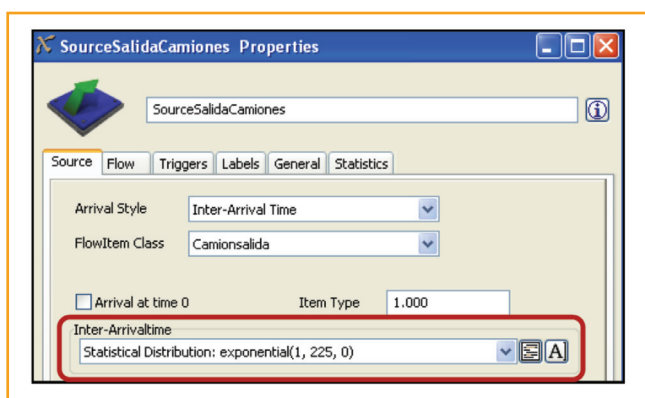
Por otro lado, dado que en la operación de la terminal no solo intervienen componentes físicos, sino que en los resultados de explotación es determinante la secuencia de ins-

trucciones que se envían a los equipos en función de las necesidades instantáneas de la terminal, además de modelar los componentes es necesario un modelo de operaciones o procesos. Este consiste en el diseño, desarrollo e implementación de metodologías y sistemas de apoyo para la planificación optimizada de operaciones tales como la asignación de atraques, la asignación de grúas de muelle, la asignación de equipos de almacenamiento e interconexión, la ubicación de contenedores en patio, el reparto de actividades entre los equipos de la terminal, el *housekeeping* y la asignación de equipos de recepción y entrega.

Una propiedad a tener en cuenta al desarrollar un modelo matemático de simulación, como el de una terminal de contenedores, es el nivel de detalle y el horizonte temporal de la simulación objetivo; estos aspectos dependen de los elementos del sistema que se quieran analizar y de las respuestas que se pretendan obtener. En función de los requisitos de nivel de detalle y el horizonte temporal se debe definir un nivel de abstracción adecuado para el modelo, como se explica más adelante.

En cualquier caso, el modelo de un simulador debe ser editable para poder simular decisiones alternativas y diferentes escenarios y horizontes temporales. Para ello es necesario que esta herramienta cuente con uno o varios **editores** que sirvan de interfaz para la introducción de los *inputs* del modelo mediante la definición de ciertos parámetros programados como variables (Figura 40).

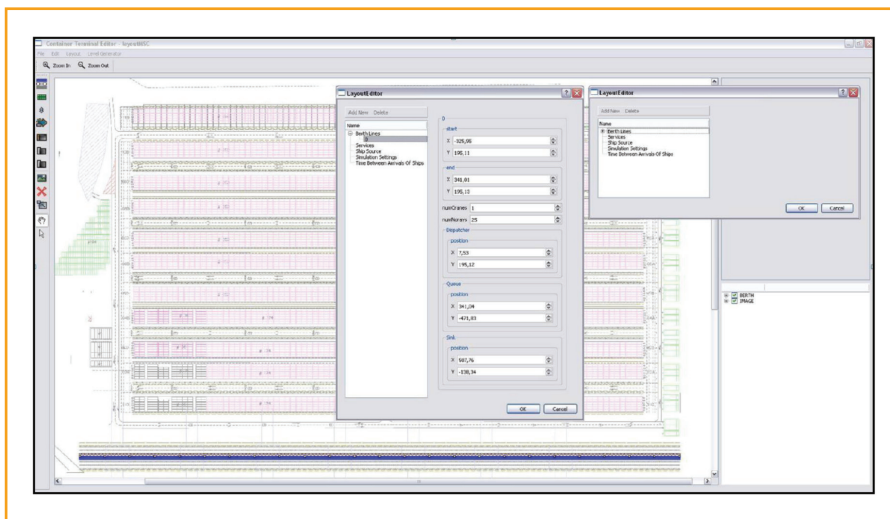
Figura 40. Ejemplo de editor de un simulador de una TPC



Fuente: Sanz *et al.* (2011)

El editor morfológico del simulador permite la ubicación de la infraestructura y superestructura de la terminal sobre el terreno, lo que se materializa en la disposición de los elementos estáticos de la terminal (muelle, patio –pilas y calles–, puerta terrestre para camiones y para ferrocarril) sobre el plano (Figura 41). Este editor es necesario, en un primer momento, para particularizar el simulador para la terminal objeto de estudio. Con posteridad se puede emplear para la evaluación de decisiones de nivel estratégico, como las referentes al *layout* del patio, o táctico, como la altura de pila.

Figura 41. Ejemplo de editor morfológico de un simulador de una TPC



Fuente: Sanz *et al.* (2011)

Otros editores permiten la configuración del estado inicial de la terminal (situación de los contenedores y los equipos para  $t=0$ ), el tiempo de simulación a ejecutar y el número de repeticiones a realizar para evaluar decisiones estratégicas, tácticas y operativas con un margen de confianza aceptable.

En cualquier caso, es de vital importancia la calidad de la información introducida en el simulador. Por muy bueno que sea el modelo, *Garbage in, garbage out* (basura entra, basura sale) es una afirmación extendida en el campo de la informática y de las TICs y es de total aplicación al ámbito de la simulación. Hace referencia a que la calidad de la información

obtenida como resultado de una simulación depende de la calidad de los datos de partida introducidos en el modelo.

Por ello, además de recopilar datos de calidad para definir los parámetros y atributos del modelo y para validarlo, es conveniente desagregar las decisiones a evaluar en cuantos factores se pueda, de forma que se consiga realizar un estudio con el nivel de abstracción adecuado. Para desarrollar esta desagregación de forma correcta deben conocerse los límites “locales” para la asignación de recursos a procesos, es decir, los recursos reales de los que la terminal dispone, entendiéndose como recursos la infraestructura, los equipos, el *software* y el personal del que se dispone. En este sentido, un ejemplo de un límite local sería cualquier restricción dada por el sistema operativo utilizado en la terminal (TOS) o las limitaciones impuestas por las condiciones laborales del puerto. Una posibilidad es llevar a cabo un *benchmarking* con TPCs similares que hayan implementado la misma solución, lo que permite obtener más información acerca de los problemas reales de las decisiones planteadas.

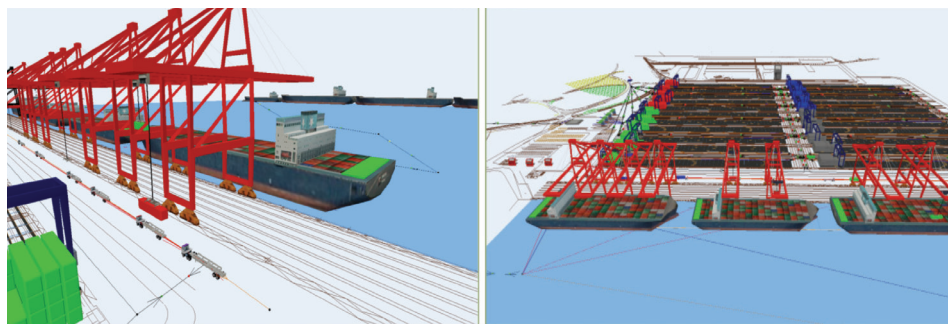
Superada la fase anterior, la ejecución del modelo gracias al **núcleo de simulación** da como resultado valores de los indicadores de rendimiento operacional de la terminal adoptados como criterios de decisión del sistema, y la varianza, el intervalo de confianza y la sensibilidad de los mismos.

Adicionalmente, estos resultados pueden ir acompañados de recomendaciones de valores para algunos parámetros configurables de la operativa de la terminal que presentan cierto margen de variación con el objetivo de optimizar el funcionamiento de la TPC. Estos *outputs* los produce un **módulo de optimización** multiobjetivo capaz de perfilar las decisiones evaluadas y proponer Planes de Acción sencillos pero concretos relativos a la asignación de atraque, la asignación de grúas de muelle, patio y equipos de interconexión, la planificación de rutas y el *housekeeping*, entre otros. Estas decisiones, en principio operativas, pueden ayudar a la toma de decisiones tácticas (establecimiento de criterios de asignación de equipos) e inducir decisiones estratégicas (compra de más equipos).

Asimismo, para la presentación de resultados, es conveniente que los simuladores faciliten la interfaz con el usuario mediante un entorno gráfico donde se pueda seguir cómo va evolucionando el estado de la terminal en tiempo simulado. Para ello, deben incorporar un **módulo de visualización** (Figura 42) que genere animaciones que permitan visualizar los procesos y las interacciones que se producen durante la ejecución

de los mismos, lo que facilita la comprensión del sistema y de las consecuencias de las modificaciones que introduce la decisión que está siendo evaluada. Al aumentar la comprensión de las interacciones entre los procesos del sistema, la simulación se convierte además en una herramienta formativa para entrenar a operadores y supervisores en su funcionamiento. Adicionalmente, este visualizador debe asistir al proceso de simulación a través de diálogos de ajuste, como la velocidad de simulación, pausa y reproducción, retroceso, etc.

Figura 42. Ejemplo de visualización de una simulación de una TPC



Fuente: MASPORT

Por último, el simulador precisa de **bases de datos** permanentes que permitan almacenar y recuperar tanto las decisiones evaluadas y los escenarios de simulación planteados como los resultados de dichas evaluaciones.

### **6.3.2.3. Niveles de abstracción para la simulación de TPCs**

En un modelo, el nivel de abstracción no es más que el detalle con el que se reproduce el comportamiento de un sistema ante un conjunto de experimentos. Por lo tanto, un modelo está asociado siempre a las respuestas que se pretendan extraer de él; es decir, el nivel de detalle en los componentes y su comportamiento vendrán determinados por el uso que se quiera hacer del mismo.

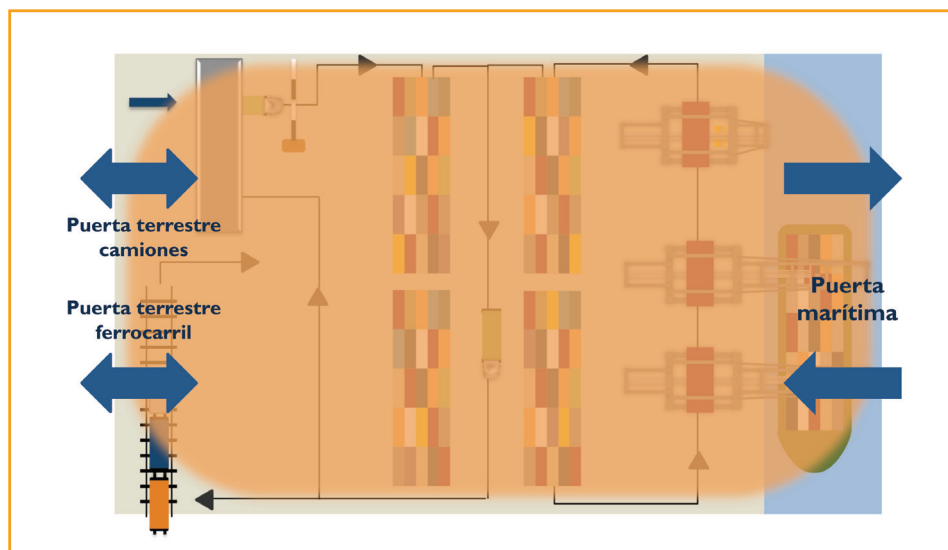
Normalmente, el esfuerzo necesario para el desarrollo y validación del modelo crece de forma exponencial con el grado de detalle, pudiendo llegar a ser muy elevado el número de parámetros que lo caracterizan. A su vez, la obtención precisa de información referente a ciertos parámetros del sistema para validar y alimentar el modelo puede ser muy difícil o costosa, tanto en tiempo como en términos económicos. Por otra parte, cuanto más complejo y detallado es un modelo, mayor es la necesidad de computación, lo que puede limitar su utilidad si no es posible dar una respuesta en un tiempo aceptable. Como norma general es conveniente buscar una solución de compromiso entre la complejidad de un modelo y su finalidad. Es un error habitual pretender obtener un modelo lo más preciso y detallado posible sin tener en cuenta sus objetivos o usos. La elección del adecuado nivel de abstracción implica que el diseño de un modelo será siempre apropiado para las respuestas que se pretenden obtener de él.

En el caso de las terminales portuarias de contenedores existe una gran pluralidad de decisiones operacionales a nivel estratégico, táctico y operativo susceptibles de ser simuladas (recuérdese la Figura 23 del Capítulo 4) que requieren de modelos con distintos niveles de detalle y horizontes temporales (ver Anexo). Por este motivo y con el fin de optimizar la eficiencia y la eficacia de la herramienta, en el proyecto MASPORT se identificaron hasta 5 niveles de abstracción (Navarro *et al.*, 2009) para el desarrollo del simulador definido en sus objetivos.

A continuación se describen estos cinco niveles de abstracción, comenzando por el más general y abstracto. Contrariamente a lo que podría pensarse, el grado de detalle de los componentes y la operativa va en aumento conforme se avanza en los niveles de abstracción; es decir, de acuerdo con el listado propuesto por Navarro *et al.*, según crece el nivel de abstracción, el grado de abstracción disminuye y el modelo se asemeja más a la realidad de la terminal. De esta manera, el nivel 1 es más abstracto, y por tanto menos detallado, que el nivel 2 de abstracción.

El **nivel 1, “Operativa de puertas: gestión discreta”**, supone la abstracción de todos los componentes internos de una TPC. En consecuencia, la terminal se modela de forma similar a un almacén simple, donde todos los objetos de un mismo tipo (buques, camiones, contenedores, etc.) se tratan de una forma homogénea (Figura 43).

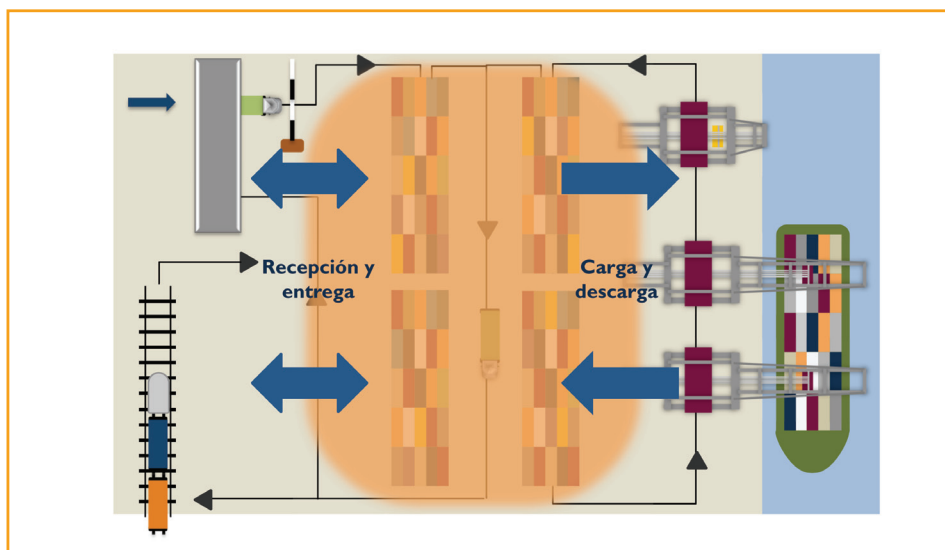
Figura 43. Nivel 1 de abstracción de simulación de una TPC



Fuente: Navarro *et al.* (2009)

El segundo nivel de abstracción, o **nivel 2, “Operativa de puertas: gestión continua”**, añade el detalle de las operativas de puertas tanto marítima como terrestres. Los modelos con este nivel de detalle utilizan funciones de distribución continuas que modelizan el número de movimientos por hora de los equipos y algoritmos de asignación de la línea de atraque y asignación del número de grúas y equipos de recepción y entrega (Figura 44).

Figura 44. Nivel 2 de abstracción de simulación de una TPC

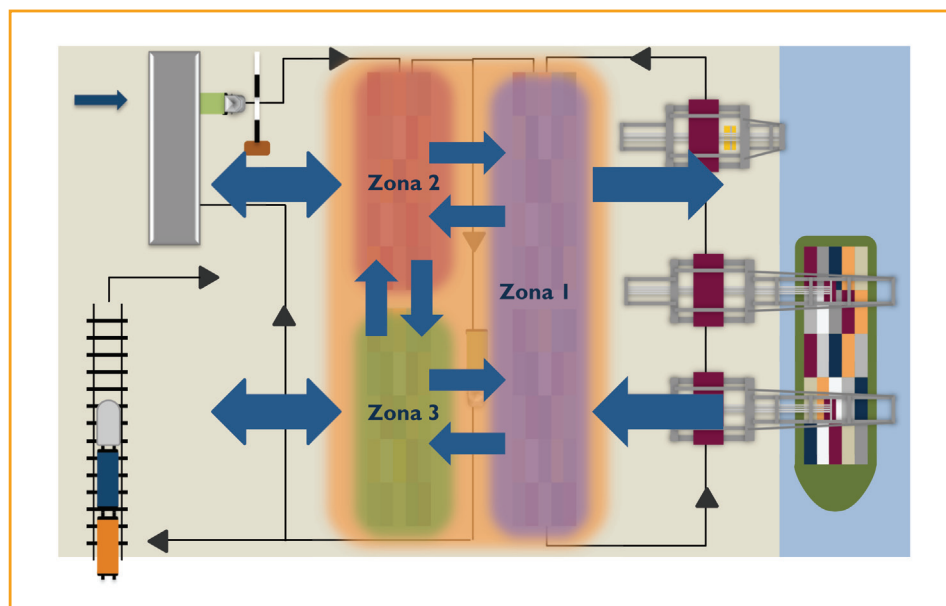


Fuente: Navarro *et al.* (2009)

En el **nivel 3, “Comportamiento de patio”**, se modela el patio dividiéndolo en diferentes zonas con estrategias de almacenamiento y operativa diferentes, reflejando con una mayor fidelidad la gestión de patio de la TPC por áreas diferenciadas para importación, exportación, vacíos o transbordos, zonas intermedias de almacenamiento si es el caso, etc. Las diferentes zonas tienen características propias que hacen que los parámetros o características de explotación, como los tiempos de estancia del contenedor, sean distintos y deban ser modelados de forma particular. Para modelar la operativa de patio a este nivel, cada zona de la terminal se considera como un almacén homogéneo donde se apilan contenedores de un tipo determinado (Figura 45).



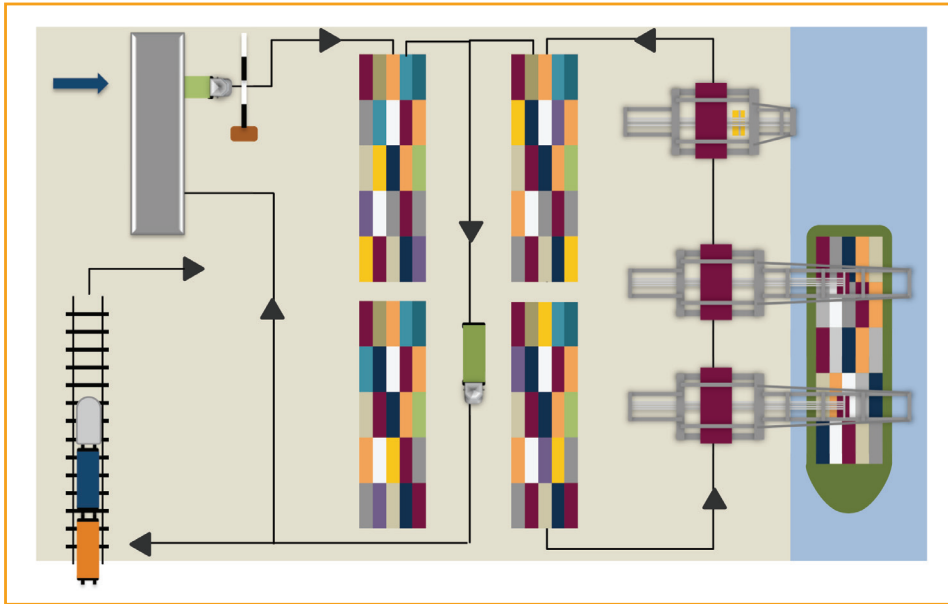
Figura 45. Nivel 3 de abstracción de simulación de una TPC



Fuente: Navarro *et al.* (2009)

El **nivel 4, “Operativa a nivel de bloque”**, es el siguiente paso en la definición del nivel de detalle en la operación de patio. En este nivel se tienen en cuenta las características de almacenamiento del patio, lo que significa que se consideran la distribución en planta y características de los bloques, las pilas de contenedores y las calles del patio. Sin embargo, los contenedores no tienen identidad propia diferenciada dentro de un servicio, por lo que ciertas operaciones, como remociones o *housekeeping*, se modelan mediante funciones de eficiencia o mediante un incremento en los tiempos de servicio. A este nivel comienza a estudiarse el tráfico interno de patio (Figura 46).

Figura 46. Nivel 4 de abstracción de simulación de una TPC



Fuente: Navarro *et al.* (2009)

La herramienta de simulación desarrollada en el marco del proyecto MASPORT por el equipo del Instituto de Automática e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia llega hasta el este nivel de abstracción, el nivel 4, debido a que los objetivos del proyecto no requerían el desarrollo de un simulador con mayor detalle, aunque permite simular con niveles de abstracción inferiores dependiendo de las necesidades de la decisión a evaluar. Actualmente las herramientas de simulación más avanzadas del mercado están desarrolladas de modo que trabajan con diferentes niveles de abstracción, en función de cada nivel de decisión, del problema, de los datos y de la capacidad de cálculo. Así, la aplicación CHESSCON de ISL Applications utiliza una matriz de selección similar a la de MASPORT, y con la que determina qué herramienta aplicar a cada necesidad, en función del nivel de detalle requerido y del nivel de decisión (desde planificación hasta operativo; ISL Applications, 2011). En muchas ocasiones son los presupuestos o la información disponible las que limitan el grado de abstracción.

Con el quinto y último nivel, **nivel 5, “Operativa TOS”**, se obtiene el máximo grado de detalle. Cada contenedor tiene todas las características que permitiría conectar el simulador con el sistema operativo de la terminal (TOS) e interaccionar con él como si fuese la propia terminal real. Este nivel de detalle requiere de ciertas funciones que por lo general necesitan de la intervención de un operador o técnico, lo que hace muy complejo la simulación durante largos periodos de tiempo.

En el Anexo de esta monografía, al abordar la descripción individualizada de las decisiones operacionales expuestas en la Figura 23 del Capítulo 4, se incluye una recomendación sobre el nivel de abstracción con la que debe ser abordada cada una de ellas para su simulación.

#### **6.3.2.4. Innovaciones en simulación**

La simulación en sí misma, como herramienta en el proceso de toma de decisiones de una terminal, puede considerarse como una innovación de gestión capaz de evaluar, entre otros, las innovaciones presentadas en los Capítulos 7, 8, 9 y 10 de este libro.

Por otro lado, los simuladores como herramientas para simulación son a su vez objeto de nuevos desarrollos tecnológicos innovadores. Las innovaciones en el campo de las herramientas de simulación se centran sobre todo en el perfeccionamiento de niveles de abstracción con mucho detalle y en la emulación. Paralelamente, se está innovando en el uso combinado de las herramientas de simulación con otras herramientas de gestión.

Primero, con respecto al nivel de abstracción máximo, ya sea el nivel 5 o simplemente el de mayor detalle, según la nomenclatura empleada, el principal problema es la complejidad y la demanda de *hardware*, de capacidad de proceso. Imagínese un modelo en que el nivel de detalle fuese cada contenedor que entra, sale o permanece en la terminal, con todos sus atributos de IMO, peso, destino, transbordo, compañía, temperatura, etc. Para la mayoría de análisis no es necesario tal nivel de desagregación. Pero uno de los avances en simulación con más crecimiento en los últimos tiempos es el de la emulación. A diferencia de la simulación, la emulación es un modelo que quiere clonar al sistema objetivo. La emulación en TPCs se suele emplear para ajustar y validar los TOS, y para ello el emulador trabaja con las mismas fuentes de datos con las que lo haría el TOS, y que

de hecho le envía el propio TOS. Es decir, el emulador permite trabajar al TOS sobre una terminal virtual que se comporta según los criterios del modelo desarrollado. Esto permite tanto ajustar el TOS ante nuevas situaciones, como analizar cómo se comportaría la TPC con el TOS que se tenga en el caso de que se hiciese algún cambio representado en el modelo del emulador.

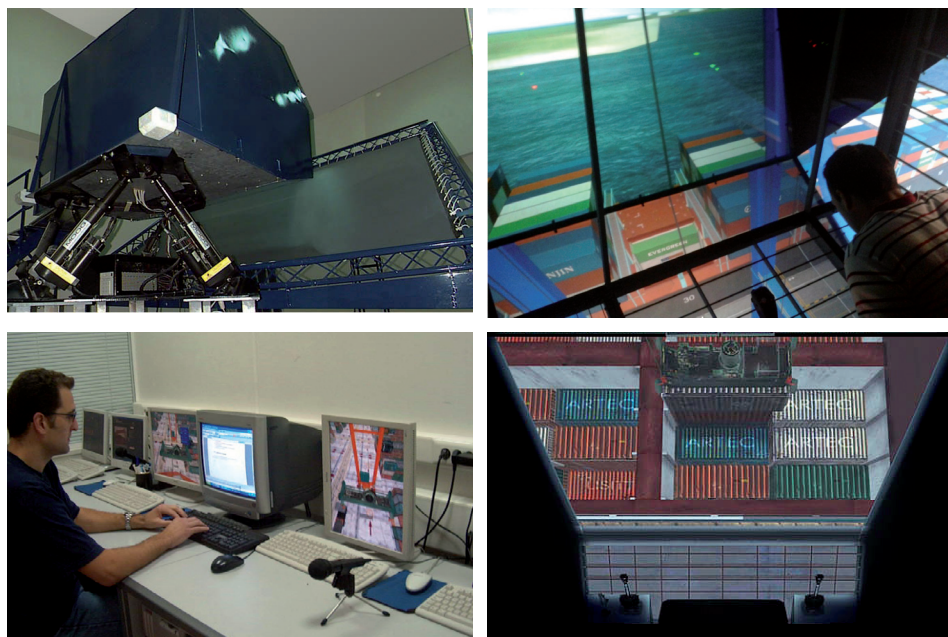
TBA ha desarrollado su herramienta de emulación llamada Controls, y ha llegado a un acuerdo de colaboración con Navis para trabajar en terminales clientes de esta última. El emulador permite ajustar el TOS, especialmente en las fases de planificación y arranque de la operativa de dichas terminales, y para terminales ya en funcionamiento, permite analizar cómo se comportaría la TPC trabajando con Navis según el modelo que se haya desarrollado con Controls.

Finalmente, en el ámbito de la gestión, otra innovación sería la combinación del simulador con la herramienta del Cuadro de Mando Integral (apartado 6.2.1). Para ello, el simulador debería desarrollarse de forma que los indicadores de rendimiento de la terminal identificados como criterios de decisión fueran el sistema de indicadores que traducen a metas los Objetivos Estratégicos del Mapa Estratégico de la terminal. Conectando ambas herramientas de gestión se obtendría un CMI simulado que mostraría cómo contribuyen las decisiones tomadas en el plano operacional de la terminal a la consecución no solo de los Objetivos Estratégicos operacionales (de las perspectivas palanca), sino también a la de los inherentes a la gestión empresarial relativos a la satisfacción del cliente y de los accionistas o, lo que es lo mismo, a la obtención de resultados económicos.

### **6.3.2.5. Simuladores de equipos de manipulación portuaria**

Por último, la simulación en terminales, además de permitir el aprendizaje de las personas encargadas de la toma de decisiones operacionales, es útil para la capacitación y el entrenamiento (*training*) de los recursos humanos directamente implicados en el desarrollo de las operaciones: los manipuladores o estibadores portuarios. Los simuladores diseñados con este fin ofrecen un entorno para la formación de personal y perfeccionamiento de habilidades en el manejo de equipos, lo que a nivel de operativa puede derivar en una mejora del rendimiento operacional, un mayor nivel de seguridad y protección o incluso en una reducción de consumos (Figura 47).

Figura 47. Simulador de grúas pórtico para el entrenamiento de manipuladores portuarios de la Sociedad de Estiba y Desestiba del Puerto de Valencia



Fuente: GIGA y Sociedad de Estiba y Desestiba del Puerto de Valencia – SAGEP

### 6.3.3. Sistemas de información en tiempo real

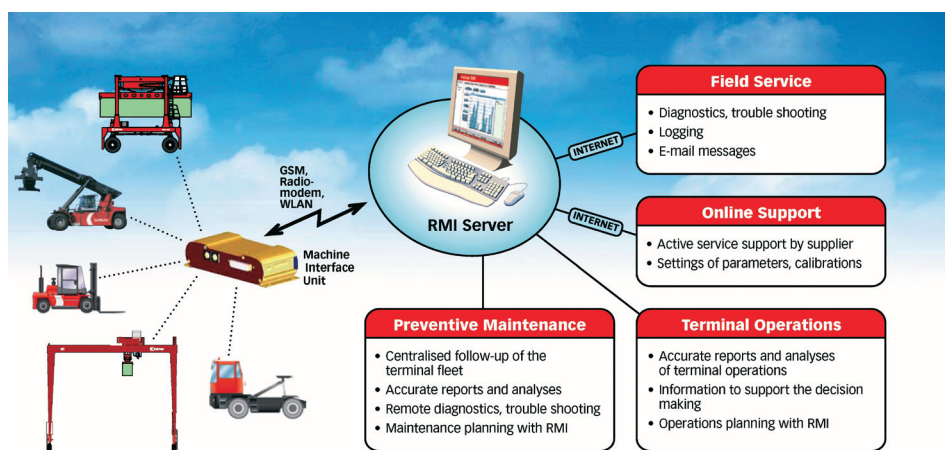
Los sistemas de información en tiempo real son tecnologías que integran las comunicaciones *wireless* con sistemas de monitorización y ubicación de equipos. Para ello, son sistemas formados por tecnologías físicas compuestas por avanzados sensores que capturan datos en tiempo real para localizar y ubicar los recursos críticos de la operativa de una terminal marítima, contenedores y equipos de manipulación. Este *hardware* interacciona con PLCs de a bordo y con el *software* de gestión de flota de equipos para transmitir al TOS información sobre el estado real de dichos recursos y permitir la toma de decisiones.

Los sistemas de información en tiempo real son imprescindibles para automatizar la gestión de recursos durante las operaciones ya que permite llevar a cabo un inventario permanentemente actualizado que incluye la posición de cada contenedor y equipo, e incluso la identificación y control de los camiones externos dentro de la terminal.

Considerando la necesidad de optimizar los tiempos de atención, la exactitud en las comunicaciones y el nivel de control en las operaciones, muchos fabricantes de maquinarias han optado por generar un valor añadido a estos equipos e incorporar en su desarrollo una interfaz de control remoto. Entre sus principales funciones se pueden encontrar la monitorización y control a distancia de los equipos o la gestión preventiva de mantenimiento mediante lecturas previas e informes, lo cual en muchos casos extiende el ciclo de vida de los equipos.

Un ejemplo de esta herramienta es la desarrollada por el Kalmar, llamada RMI (*Remote Machine Interface*, Figura 48) desarrollada para todos sus equipos.

Figura 48. *Remote Machine Interface*



Fuente: Cargotec Corporation

Además de controlar el estado de los equipamientos portuarios, la función realmente innovadora de los sistemas de información en tiempo real es la capacidad que proporcionan a la lógica tanto del TOS como de las otras aplicaciones de *software* anexas de poder tomar decisiones más ajustadas al modelo real de la terminal. Es decir, cuanto más capaz sea el sistema de conseguir en tiempo real la información que necesita, más posibilidades hay de que la lógica con la que la maneja se acerque a las decisiones óptimas de un modelo virtual ideal. Sin embargo, esta aplicación requiere un mayor esfuerzo de análisis y programación.

Esto enlaza con el siguiente apartado sobre optimización. Por decirlo de un modo simplista, la diferencia que marcarán los sistemas en tiempo real y la posterior optimización de los procesos en base a esa información cambiante, será la capacidad de ir ajustando la operativa y el uso de recursos en base a los inevitables cambios que surgen durante la misma.

En realidad muchos de los sistemas de información en tiempo real van implícitos en algunas de las innovaciones, tales como las de automatización de las puertas terrestres de la TPC, con sistemas de escaneado, de OCR, con enlaces con ventanillas únicas o los nuevos sistemas de OCR en las grúas tanto de muelle como en las de patio, con comprobación del contenedor y de su posición final, los sistemas de posicionado de los SCs o de los RTGs mediante GPS o DGPS, etc.

Con todo ello, bien los PLCs de los equipos, bien el TOS o los sistemas anexos al mismo, manejan cada vez una información mayor y más cambiante, que por una parte se convierte en un mejor conocimiento de la TPC, en cuanto a posiciones de los contenedores, estado de operaciones, etc., pero por otra parte permite modificar las decisiones a tomar en la continuación de la operativa, ya sea de muelle, de patio, de puertas, etc.

Así, una buena información de una ventanilla única portuaria, conectada a las puertas de acceso automáticas, permite la reasignación de recursos como ASCs y huecos del patio para que sean más eficientes y eficaces.

Los sistemas de *pooling* requieren de una buena información en tiempo real tanto de las demandas que deben atender (listas de carga, descarga, de puerta, etc.), como de las posiciones de todos los recursos, para, como se verá en el siguiente apartado de Optimización, reasignar del modo más eficiente y eficaz posible a los mismos.

Un claro ejemplo del interés de la información en tiempo real sería el de la aplicación del doble ciclo en las grúas de muelle. Este consiste en organizar las operaciones de buque de modo que la grúa esté a la vez cargando y descargando el buque, con lo que se aprovechan (optimizan) los movimientos de la propia grúa (minimizando los movimientos sin carga), sino que además se puede optimizar el uso de los sistemas de interconexión, si bien los recursos de patio podrían seguir estando desdoblados, o atendiendo a cada tráfico por separado (en principio la lógica del patio sería la misma que para el caso de los movimientos por separado, pero con una mayor densidad de movimientos por unidad de tiempo, y quizá con una mayor demanda de equipos debido al aumento de la capacidad del muelle). Este caso no puede abordarse sin una información en tiempo real y muy fiable. Se trata de un claro ejemplo de optimización, que podría servir de preámbulo para el siguiente apartado. Hay que destacar los trabajos de Song (2008) y Goodchild y Daganzo (2007) en éste campo, así como la experiencia de HHLA en CTA Hamburgo (WorldCargo News, julio 2012).

### 6.3.4. Herramientas de optimización

El significado de optimización es lo suficientemente amplio como para pensar que muchas de las innovaciones ya expuestas llevan implícita la optimización de la operativa global de la TPC.

Pero el significado de optimización en la gestión de TPCs viene del que se le da en Investigación Operativa, y que tiene su origen en métodos militares que buscaban la solución “óptima” de entre una serie de ellas. Se trata, básicamente, de métodos matemáticos y lógicos para la mejora de la toma de decisiones y de procesos. Tras la Segunda Guerra Mundial este conocimiento pasó de los ámbitos militares a los negocios y universidades como parte de la disciplina de Investigación Operativa.

Las propias simulación y emulación, como herramientas de Investigación Operativa, también son herramientas para la Optimización. Pero hay otras técnicas que pueden utilizarse tales como las que se basan en algoritmos matemáticos, o en procesos estocásticos, para determinar rutas óptimas para los recursos de transporte horizontal, considerando los límites y condicionantes tales como la no colisión, reglas de tráfico, prioridades, etc., o la asignación óptima de órdenes de trabajo a los ASCs o RTGs, o SCs en patio para que la suma de recorridos efectuados en base a las continuamente cambiantes órdenes de trabajo sea la menor posible, la óptima.



Así, INFORM, empresa alemana formada por una asociación entre la Universidad de Aachen (Departamento de Investigación Operativa), HPC (Hamburg Port Consulting) y HHLA (empresa operadora portuaria de mayoría de capital de la Municipalidad de Hamburgo), se ha dedicado en gran parte de sus trabajos, no solo en terminales portuarias, sino en logística del automóvil, en aeropuertos y en hospitales también, al desarrollo de lógicas de optimización basadas en diversos métodos de la Investigación Operativa (programación lineal, algoritmos de Simplex, *Fuzzy Logic*, etc.).

La ventaja de estos métodos de optimización es que pueden utilizarse tanto en las fases más estratégicas, como tácticas y operativas, de la planificación y gestión tal y como hicieron los militares.

Cabe hacer una mención especial al “*Fuzzy Logic*” desarrollado por Zadeh (1965 y 1968) y aplicada a TPCs por INFORM y otros autores como Zhou, Kang y Lin (2006) o Yu y Zhang (2010). *Fuzzy Logic* es un método que intenta asemejarse al pensamiento humano, donde las informaciones tienen atributos que por ejemplo las pueden hacer “no del todo ciertas” o “posiblemente falsas”.

A diferencia de la lógica booleana, donde todo es cierto o falso, aquí se trata de una lógica difusa, del tipo empleado por una persona para elegir un camino en una sección de ropa en unos grandes almacenes cuando no tiene un objetivo de compra concreto, o al elegir una plaza de aparcamiento cuando hay varias libres, etc.

Esta lógica es trasladable a código máquina, y es especialmente útil cuando hay múltiples datos, más o menos difusos o inconexos, y donde obtener una solución única es muy difícil y costoso en tiempo, mientras que una decisión “fuzzy” puede ser tomada rápidamente en base a apreciaciones y consideraciones pre-programadas.

Esa lógica pre-programada considera no solo la solución para un movimiento aislado, sino las consecuencias que tendrá sobre el funcionamiento global, procurando evitar cuellos de botella.

Un ejemplo que puede estudiarse es la asignación de pila para la recepción de un contenedor, de la ubicación en dicha pila para el almacenamiento del contenedor y el ASC encargado de realizar la operación adecuado considerando la optimización de la capacidad

de almacenamiento, la facilidad de operaciones futuras, la minimización de los recorridos de los ASC en modo global, todo ello con unos tiempos de espera aceptables para el camión.

El TOS TERMINALSTAR de INFORM y HPC integra muchas de estas técnicas de optimización, especialmente las que se aplican a equipos automatizados (HPC e INFORM, 20--?).

Uno de los problemas con los equipos manuales es la dificultad de estimar el tiempo de respuesta, así como la propia capacidad de decisión del operario en la medida que se le permite.

Otro claro ejemplo sería la solución conjunta de Navis y ARL Shipping “RTG *Commander*”, basada en algoritmos avanzados, y que utiliza también la información actualizada de las órdenes de trabajo globales de una TPC dirigidas a los RTGs, ya vengan de varias grúas de muelle, o de las puertas terrestres para recepción o entrega. Así se optimiza el uso de los RTGs distribuyendo mejor las cargas, evitando cuellos de botella mientras algunos RTGs están ociosos, y se optimiza el uso del patio. Ofrece, además, información estadística y en tiempo real que los sistemas de asignación manual o semi-automática de RTGs no pueden dar, en parte debido a no procesar información en tiempo real (Navis, 2011).

Como se deduce de los ejemplos, para poder abordar la optimización de decisiones operativas es necesario disponer de información en tiempo real.

Es previsible que en un futuro aumente el uso de la optimización apoyado por una parte en el desarrollo de tecnología y técnicas de sistemas en tiempo real y por otra en la participación de empresas de ingeniería que desarrollan técnicas de investigación operativa. Las herramientas de optimización se integrarán bien en los TOS o en los controladores de ciertos equipos. Esto afectará a la lógica general del funcionamiento de las TPCs.



*La innovación constante es la única forma  
de mantenerse competitivo, porque ninguna  
ventaja es sostenible en el largo plazo.*

Jorge González Moore, escritor,  
poeta e ingeniero



## Innovaciones en el subsistema de carga y descarga

El subsistema de carga y descarga o de línea de atraque de una terminal de contenedores tiene como función principal, como su propio nombre indica, la carga de contenedores del muelle al buque y la descarga de contenedores del buque al muelle, es decir, constituye la interfaz tierra-mar.

El equipo principal de este subsistema son las grúas de muelle. Las mejoras que se introducen en las mismas están encaminadas fundamentalmente a la mejora del rendimiento operacional y en menor proporción al desarrollo de la seguridad y la protección –tanto para la mercancía como para las personas–, o a aspectos de sostenibilidad ambiental y de eficiencia, las tres necesidades estratégicas introducidas en el Capítulo 2.

Las medidas de mejora del rendimiento operacional se traducen en un incremento de la capacidad del subsistema de carga y descarga y en una mejora del nivel de servicio ofertado a las navieras.

En la primera parte del capítulo se desarrollan las innovaciones tecnológicas (apartado 7.1) y en la segunda las innovaciones de gestión (apartado 7.2).



## 7.1. Innovaciones tecnológicas

### 7.1.1. Mejora del rendimiento operacional

El trabajo a desarrollar en el proceso de carga y descarga de buques se podría dividir en las siguientes actividades: la localización y enganche del contenedor en el punto inicial (muelle o buque), el traslado hasta el punto de destino (izado, traslación y descenso), y finalmente su posicionamiento en el punto de destino (buque o muelle), a las que hay que añadir las operaciones de trincaje y destrincaje del contenedor.

Las innovaciones implementadas para mejora de estas acciones redundarán en un incremento del rendimiento operacional y además pueden contribuir a otros aspectos como la seguridad de la mercancía o la eficiencia energética. Las vías para mejorar el rendimiento operacional son la reducción de la duración del ciclo de carga y descarga, el incremento del número de contenedores movidos en cada ciclo y la optimización de las grúas asignadas al buque (Tabla 9).

La reducción de la duración del ciclo de la grúa puede conseguirse de varias maneras: aumentando la velocidad de todos los movimientos que realizan las grúas, facilitando el posicionamiento del *spreader* y la transferencia del contenedor entre las grúas de muelle y los equipos de interconexión, agilizando el funcionamiento de los *twistlocks*, optimizando la distancia recorrida, y con equipos y sistemas de automatización. Estas medidas se analizan en el apartado 7.1.1.1.

Por otro lado, existen diferentes innovaciones tecnológicas que permiten incrementar el número de contenedores movidos por ciclo o por metro lineal de atraque, gracias a la mejora o aumento del número de *spreaders* por grúa o a la posibilidad de ubicar más grúas trabajando sobre el buque. Estas tecnologías se estudian en el apartado 7.1.1.2.

La optimización en la asignación del número de grúas por buque es una medida de gestión y se trata en el apartado 7.2.1.5.

Tabla 9. Clasificación de las innovaciones que contribuyen a la mejora del rendimiento operacional

7.1.1.1	Reducción de la duración del ciclo		
	7.1.1.1.1	Incremento de las velocidades de la grúa	
	7.1.1.1.2	Grúa de muelle con doble <i>trolley</i>	
	7.1.1.1.3	Posicionamiento del <i>spreader</i>	
		7.1.1.1.3.1	Sistemas <i>anti-sway</i>
		7.1.1.1.3.2	Sistemas <i>anti-skew</i>
	7.1.1.1.4	Relación de las grúas de muelle con los equipos de interconexión	
	7.1.1.1.5	Automatización de <i>twistlocks</i>	
		7.1.1.1.5.1	Sistemas automáticos de colocación y retirada de <i>twistlocks</i>
		7.1.1.1.5.2	Sistemas de apertura y cierre automático de <i>twistlocks</i>
	7.1.1.1.6	Reducción de la distancia recorrida	
		7.1.1.1.6.1	Grúa con pluma ajustable en altura
		7.1.1.1.6.2	Optimización de la trayectoria
	7.1.1.1.7	Automatización de la carga y descarga de buques	
		7.1.1.1.7.1	Control remoto
7.1.1.2	Incremento del nº de contenedores movidos por ciclo o por ml de atraque		
	7.1.1.2.1	Tipologías de carros y <i>spreaders</i>	
		7.1.1.2.1.1	<i>Spreaders twin-lift</i>
		7.1.1.2.1.2	<i>Spreaders tandem</i>
		7.1.1.2.1.3	Triple <i>spreader</i> con <i>twin-lift</i>
	7.1.1.2.2	Tipología de grúa	
		7.1.1.2.2.1	Grúas con dos <i>trolleys</i> sobre la pluma
		7.1.1.2.2.2	Grúas <i>dual hoist</i>
		7.1.1.2.2.3	Grúas de doble pluma
		7.1.1.2.2.4	"Estructura continua" - <i>FastNet crane</i>

Fuente: Fundación Valenciaport

El objetivo principal de muchas de las innovaciones que se van a describir va en la línea de reducir la diferencia entre el rendimiento nominal de los equipos de carga y descarga y el real expresados en movimientos por hora.

#### **7.1.1.1. Reducción de la duración del ciclo**

Desde el desarrollo de la primera grúa pórtico para contenedores, los fabricantes han ido incrementando la velocidad de traslación de los carros (*trolley*) pues la reducción del tiempo empleado en este movimiento es crucial para aumentar la productividad de la operativa. Y más aún cuando debido al crecimiento progresivo del tamaño de las grúas, producido en paralelo al del tamaño de los buques portacontenedores, las distancias que deben recorrer los contenedores durante la carga o descarga son cada vez más largas. Para compensar esos mayores recorridos manteniendo o reduciendo las duraciones de los ciclos, se necesita aumentar la velocidad, la aceleración y la desaceleración del carro y el *spreader*, y resolver los problemas técnicos y de durabilidad producidos por los efectos dinámicos y los mayores balanceos. En este sentido cobra una especial relevancia la adecuación del tamaño de las grúas al del buque que deben atender. Todas estas cuestiones –muchas de ellas relacionados entre sí– se analizan en los siguientes apartados.

##### 7.1.1.1.1. Incremento de las velocidades de las grúas

Lo que se pretende incrementando la velocidad de desplazamiento, la aceleración y desaceleración tanto del carro (movimiento horizontal), como del *spreader* (movimiento vertical) es que la carga recorra la distancia entre el muelle y el buque en el menor tiempo posible.

Las grúas modernas pueden ofrecer velocidades de hasta 350 m/min para la traslación del carro con o sin carga, y velocidades de hasta 120 m/min para elevación y descenso del *spreader* en carga y 180 m/min en vacío. Las velocidades de traslación de la grúa alcanzan hasta 60 m/min (Robinson, 2009; Fossey, 2012; Port Technology International, mayo 2012a). No obstante, los valores habituales son más conservadores: velocidades máximas de traslación de carro de 210-220 m/min; de elevación del *spreader* con carga de 70 m/min; de elevación del *spreader* sin carga de 175 m/min; y de traslación de grúa de 45 m/min.

Pero las verdaderas innovaciones en este campo no son las altas velocidades y aceleraciones en sí sino las soluciones aplicadas a los problemas que generan en el posiciona-

miento del *spreader*, en los cables y frenos y en la estructura de la grúa. Estos problemas se ven agravados por el hecho del crecimiento continuo del tamaño de las grúas y de su capacidad de carga, lo que implica que cada vez se necesitan cables más largos y los efectos dinámicos e inercias que aparecen son cada vez mayores. Incluso podrían producirse daños a la carga o al buque debido bien a los problemas de control de los movimientos con velocidades elevadas, o bien a la reducción de la precisión debido al alejamiento del manipulador de la grúa respecto a los puntos de carga y descarga.

Las mejoras de las velocidades y aceleraciones de la grúa únicamente son efectivas si el *spreader* no sufre retrasos a lo largo del ciclo completo de carga y descarga, que incluye dos elevaciones, dos descensos y dos traslaciones horizontales, más el tiempo empleado en el posicionamiento del *spreader* al cargar y descargar, el tiempo de enganche y desenganche y los tiempos de espera en el caso de no estar en posición el contenedor a cargar o no haber transporte que evacúe el que se está descargando. Por lo tanto, de nada sirve tener unas grúas que realizan las traslaciones horizontales y verticales a gran velocidad si el tiempo que se ahorra en esa parte del ciclo se pierde enganchando o desenganchando el contenedor o esperando a que llegue el equipo de interconexión vacío o con carga. Esta última espera ralentiza considerablemente el ciclo de la grúa.

La reducción de estos tiempos es posible mediante sistemas de ayuda al posicionamiento del *spreader*, de los equipos de interconexión debajo de las grúas y al uso de *twistlocks* que permitan una manipulación más rápida (apartados 7.1.1.1.3, 7.1.1.1.4 y 7.1.1.1.5 respectivamente).

También existen unos sistemas, como los que permiten identificar el contenedor y sus características durante la operativa de carga y descarga, que contribuyen a la reducción de la duración del ciclo, pero que han sido desarrollados como mejoras de aspectos relativos a seguridad y protección, por eso se analizan en el apartado 7.1.2.

### **Efectos dinámicos sobre la estructura de las grúas**

La estructura de la grúa debe estar preparada para soportar las acciones que actúan en ella: las cargas y los efectos dinámicos que producen, así como las acciones del viento, terremotos —en función de la zona sísmica en la que se instalen—, y el peso propio. Además, como están sometidas a cargas repetitivas, no constantes, la posibilidad de aparición de fatiga de la estructura es mayor. Como las grúas son cada vez más grandes y las



cargas que mueven también, estas acciones que deben soportar son también cada vez mayores.

Los fabricantes se ajustan a las recomendaciones de la norma “FEM 1.001 Normas para el diseño de los aparatos elevadores” (European Federation of Materials Handling, FEM, 1998), que relaciona la “vida útil” de la grúa (número de ciclos de trabajo por encima del cual la probabilidad de fallo aumenta considerablemente), el espectro de cargas (frecuencia con la que mueve cargas máximas, medianas y pequeñas), y grupo de grúa (en función de los espesores de perfiles, chapas y tubos, es decir, en función de la resistencia).

Un problema adicional debido a las grandes aceleraciones y velocidades de *spreader*, como se puede ver con más detalle en el apartado 7.1.2.1.1, es la posibilidad de que el contenedor se enganche en las guías de la bodega del buque cuando la grúa lo está sacando del buque. Esto puede producir que se rompan los cables por la fuerte tensión puntual o se vea dañada la estructura de la grúa, que además debe soportar tensiones extra debido al frenado de la carga en movimiento.

#### 7.1.1.1.2. Grúa de muelle con doble *trolley* (con plataforma intermedia)

La automatización de la carga y descarga de buques es muy complicada pero existen diseños y sistemas que intentan automatizar la parte del ciclo que es posible y apoyar al gruista en su trabajo consiguiendo mejorar la productividad de la grúa.

Con las grúas de doble *trolley* con plataforma intermedia (también llamada plataforma de trincado) las operaciones de carga y descarga de buques se realizan en dos fases: para la descarga el *trolley* principal iza el contenedor del buque y lo deposita en la plataforma – que funciona como un dispositivo de espera y retirada de *twistlocks*– y un segundo *trolley* traslada el contenedor desde la plataforma al muelle (Figura 49). La carga se realiza de forma inversa y en la plataforma intermedia se colocan los *twistlocks*.

La plataforma intermedia actúa como pequeño *buffer* y debido a que el ciclo del segundo *trolley* (el que se encarga del traslado entre la plataforma intermedia y el muelle) es más corto que el del *trolley* principal, permite desacoplar parcialmente el funcionamiento de la grúa del ciclo de los equipos de interconexión. La productividad teórica que se puede alcanzar es de aproximadamente 60 mov/h (Kim y Kim, 2004).

Figura 49. Operación de una grúa de doble *trolley*. Container Terminal Altenwerder (HHLA – CTA) (Puerto de Hamburgo – Alemania)



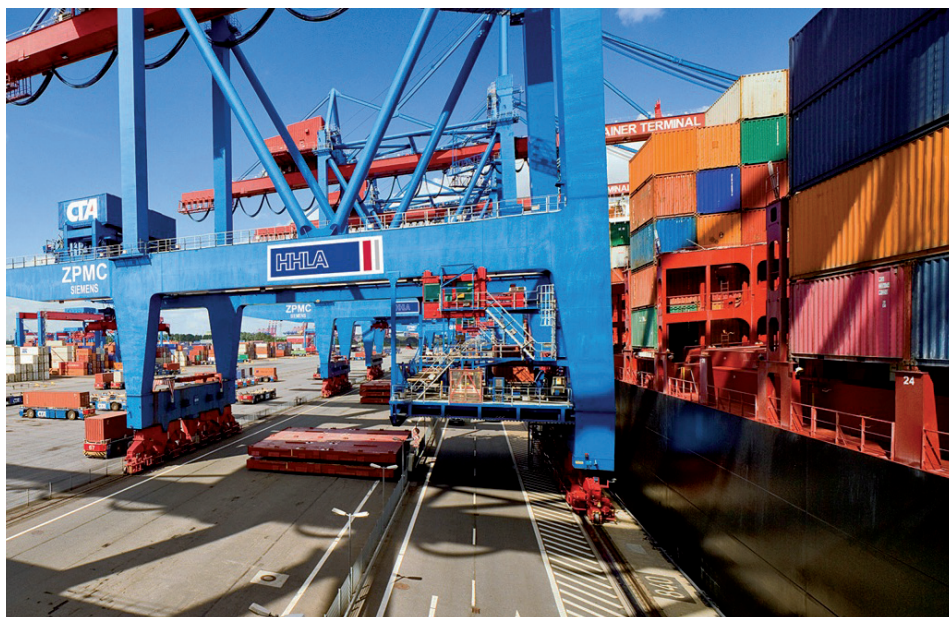
Fuente: Fundación Valenciaport

La ventaja principal de este tipo de grúas es que el segundo *trolley* es fácilmente automatizable. Adicionalmente también facilita la automatización de parte del movimiento del *trolley* principal. Sus principales inconvenientes son el elevado precio de la grúa y su mayor peso que encarece notablemente la superestructura del muelle.

A fecha de 2012 la Container Terminal Altenwerder (HHLA-CTA) del Puerto de Hamburgo tiene 13 grúas de doble carro de ZPMC, y Euromax Terminal Rotterdam (ECT) tiene otras 12.

Otras ventajas de este tipo de grúa es que a la plataforma intermedia se le pueden incorporar funciones adicionales, como la colocación o retirada automática de *twistlocks* (ver apartado 7.1.1.1.5), o algunas relacionadas con la seguridad como la detección nuclear de la plataforma ALP.

Figura 50. Grúas de doble *trolley* de ZPMC en Container Terminal Altenwerder (HHLA – CTA)  
(Puerto de Hamburgo – Alemania)



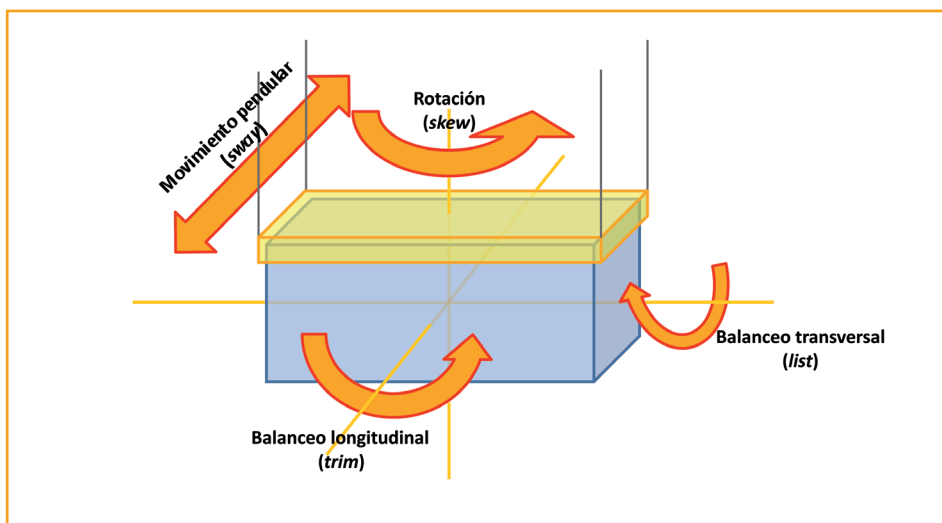
Fuente: Hamburger Hafen und Logistik AG.

La empresa PACECO ha desarrollado lo que llama *BufferStation* (anteriormente *Interceptor*), que es una plataforma móvil con autonomía propia que se coloca bajo cualquier grúa de muelle y le sirve a esta de *buffer*, pasando a funcionar de manera análoga a una grúa de doble *trolley*. Además podría escanear los contenedores durante la descarga (ver Figura 78 del apartado 7.1.2.2). (PACECO Corporation, 200-?a).

#### 7.1.1.1.3. Posicionamiento del *spreader*

Respecto al posicionamiento del *spreader*, para enganchar y desenganchar un contenedor el *spreader* debe pasar de altas velocidades a reposo (y viceversa) de manera rápida y eficaz (Monfort et al., 2011a), lo que provoca en el *spreader* balanceos (longitudinales o *trim*, transversales o *list* y rotaciones o *skew*, que se conocen conjuntamente como *skew*), y movimientos pendulares o *sway* (Figura 51).

Figura 51. Movimientos del *spreader*



Fuente: Fundación Valenciaport

#### 7.1.1.1.3.1. Sistemas anti-sway

Las grúas modernas incorporan sistemas automáticos para minimizar los movimientos pendulares (*sway*) y lograr un rápido y eficaz posicionamiento facilitando el enganche y desenganche del contenedor; mejorando la operativa respecto al uso de equipos más anticuados en la que es la pericia del operador la que determina la precisión de los movimientos. A estos sistemas automáticos se les llama anti-balanceo o *anti-sway*, aunque algunos fabricantes utilizan denominaciones propias (*Sway Control* de ABB Group, *Active Sway Prevention System* de Konecranes; *Anti-sway Hoist Rope Reeving System* de Liebherr; *Anti-sway System* de RIMA srl).

Básicamente el funcionamiento para reducir el movimiento pendular o *sway*, consiste en controlar electrónicamente el movimiento del *trolley*, de modo que cuando el operador de la grúa detiene el contenedor, el *trolley* no frena de forma constante, si no que lo hace de modo que se generan unas fuerzas horizontales contrarias a la dirección del *spreader* que consiguen que este deje de oscilar, reduciéndose los ciclos pendulares a uno o incluso ninguno. Este sistema se utiliza tanto para posicionar sobre el buque o el muelle el

*spreader* cargado, como cuando hay que posicionarlo vacío para recoger un contenedor en el buque o en el muelle (Zrnic, Petkovic y Bosnjak, 2005).

El sistema anti-balanceo puede incorporarse a grúas que no lo tengan implementado desde su fabricación (*retrofitting*). De hecho existen fabricantes distintos a los fabricantes de grúas que lo ofrecen entre sus productos, por lo que el grado de implantación tanto en grúas nuevas como en las ya operativas de terminales con altos requerimientos de rendimiento está muy extendido.

Este sistema reduce la duración del ciclo puesto que no es necesario esperar a que se detenga el movimiento pendular para seguir operando.

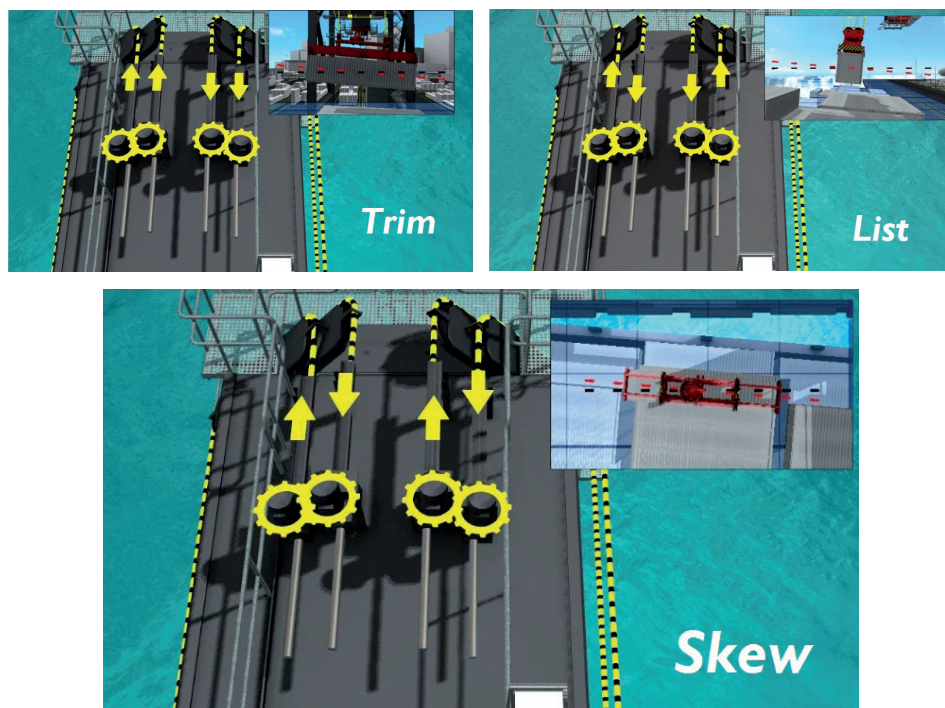
#### 7.1.1.1.3.2. Sistemas *anti-skew*

Los sistemas *anti-skew* ajustan las inclinaciones *skew*, *trim* y *list*, para alinear perfectamente el *spreader* cargado con la bodega del buque o con el sistema de interconexión, o el *spreader* vacío sobre el contenedor esté este en el buque o en muelle. Se trata de un sistema que controla electrónicamente la inclinación del *spreader*, ajustando hidráulicamente la longitud de cada uno de los cuatro cables que lo sujetan al *trolley* mediante un conjunto de cilindros. Konecranes (Figura 52) ha desarrollado un sistema electromecánico, no hidráulico, que requiere menos mantenimiento.

El sistema *anti-skew* de ABB Group (*Skew Control System*), se apoya en otros sistemas del paquete ACLAS (ver 7.1.1.1.7) para automatizar el ajuste total de la inclinación del *spreader* tanto en la bodega del buque como en el muelle.



Figura 52. Sistema de corrección de *trim*, *list* y *skew* de Konecranes



Fuente: Konecranes Ausió S.L.U.

Adicionalmente Konecranes ha desarrollado el *Boxhunter Horizontal Fine Positioning System*, que facilita la corrección de las desviaciones horizontales que aparecen en el momento del posicionamiento final del *spreader* o del contenedor en el buque, permitiendo al operador mover el *spreader* horizontalmente  $\pm 200$  mm en dirección paralela o perpendicular a la pluma de la grúa, para ajustar la posición más exacta y rápidamente, sin necesidad de mover el *trolley* ni la propia grúa. El operador puede utilizar este sistema simultáneamente con el *Skew Control System*.

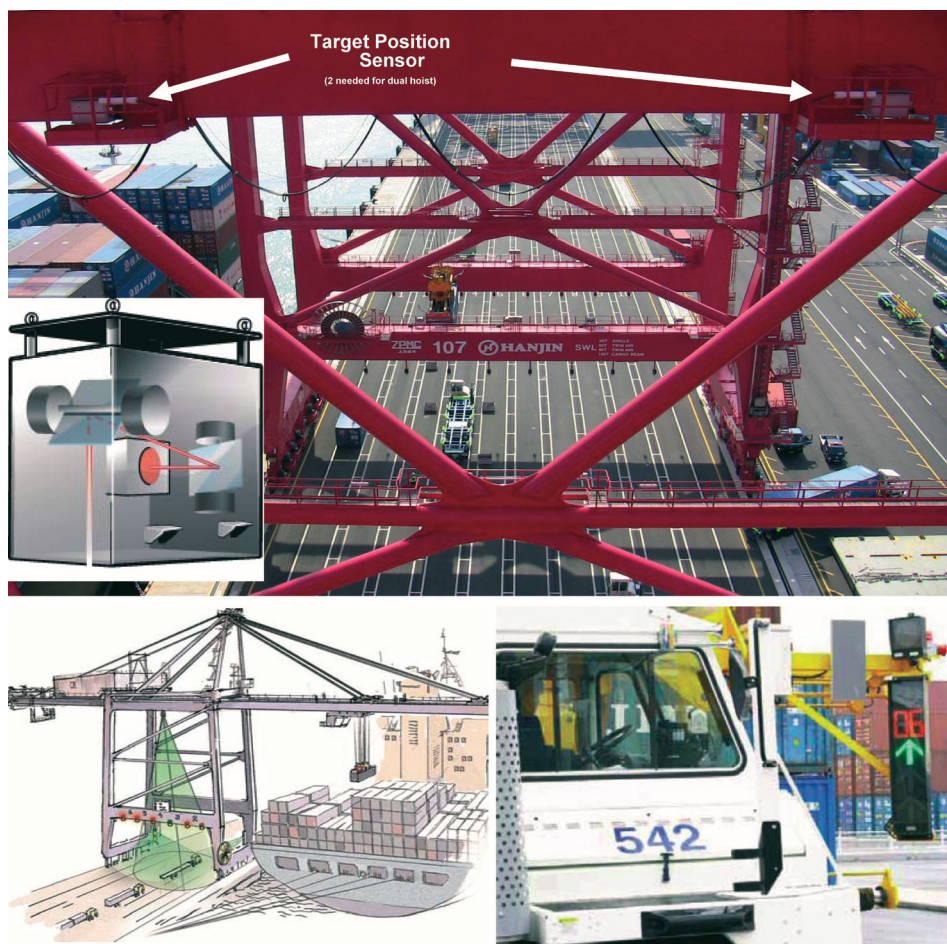
#### 7.1.1.1.4. Relación de las grúas de muelle con los equipos de interconexión

Como se ha comentado, los tiempos que pasa la grúa de muelle esperando al equipo de interconexión que viene a traer o a llevarse un contenedor alargan la duración del ciclo afectando negativamente al rendimiento operacional.

Existen varias medidas encaminadas a optimizar la interacción de las grúas de muelle con los equipos de interconexión. Una de ellas es el *decoupling*, que se analiza en el apartado 10.2, y que permite desacoplar el funcionamiento de las grúas de muelle y de los vehículos de interconexión para que no tengan que esperarse mutuamente. Otra sería la utilización de grúas con plataforma intermedia, que se analiza en el apartado 7.1.1.3; y finalmente otras van encaminadas a optimizar el posicionamiento de los vehículos de interconexión respecto a las grúas.

En esta línea ABB Group ofrece el *Vehicle Alignment System* (VAS). Este sistema realiza dos funciones, primero guía al conductor de la plataforma mediante unas señales luminosas (tipo semáforos) para que se detenga en una posición centrada debajo de la grúa, y segundo envía al sistema de control de la grúa la posición exacta en la que se halla la plataforma una vez se ha detenido. El VAS es capaz de detectar y posicionar simultáneamente diferentes tipos de plataformas y en múltiples calles. Para ello la grúa va provista de uno o dos sensores láser (*Target Position Sensor*) que determinan la posición de las plataformas (Cederqvist, 2011) (Figura 53).

Figura 53. Componentes del sistema VAS de ABB



Fuente: Cederqvist (2011)

Por su parte, Liebherr incorpora a partir de 2012 a algunas de las grúas que fabrica un sistema análogo, denominado *Trailer Positioning System* (TPS). El TPS funciona con escáneres láser que leen el perfil de las plataformas que se acercan al muelle a recoger o dejar un contenedor y, mediante un conjunto de señales luminosas, las guían para colocarlas



justo debajo de la posición del *spreader*, reduciendo significativamente el tiempo necesario para el posicionamiento del *spreader* en el muelle durante la carga y descarga.

La empresa Lase ofrece un sistema de posicionamiento de AGVs, denominado *ContainerCarrier Position Recognition (CoCa)*, para grúas de un solo *trolley* que mediante cuatro escáneres láser colocados en el *trolley* miden la posición del contenedor respecto al AGV con una precisión de 30 mm, y muestran los resultados en una pantalla (*Profibus interface*), todo ello sin intervención manual (WorldCargo News, septiembre 2011).

Además Lase ofrece un sistema denominado *Container position measurement and protection field monitoring (PDS CoSe)* para grúas de *double trolley* que facilita la automatización del *trolley* secundario con la ayuda de 8 escáneres láser (ver 7.1.1.1.2).

Finalmente, ABB tiene un sistema similar al VAS, el *Load Positioning System (LPS)*, que realiza las mismas funciones que aquel pero para la localización del contenedor en el buque, de manera que manda la información de la posición exacta de la carga al sistema de control de la grúa gracias a una cámara incorporada al *trolley* y a una caja transmisora montada en el *headblock* (pieza que sujeta el *spreader*).

### 7.1.1.1.5. Automatización de *twistlocks*

Existen dos actividades relacionadas con los *twistlocks* que se pueden automatizar. La primera es la colocación y retirada de los *twistlocks* que permiten el anclaje de unos contenedores a otros durante el transporte marítimo, y la segunda es la apertura y cierre de esos *twistlocks* antes o después de colocarlos respectivamente.

#### 7.1.1.1.5.1. Sistemas automáticos de colocación y retirada de *twistlocks*

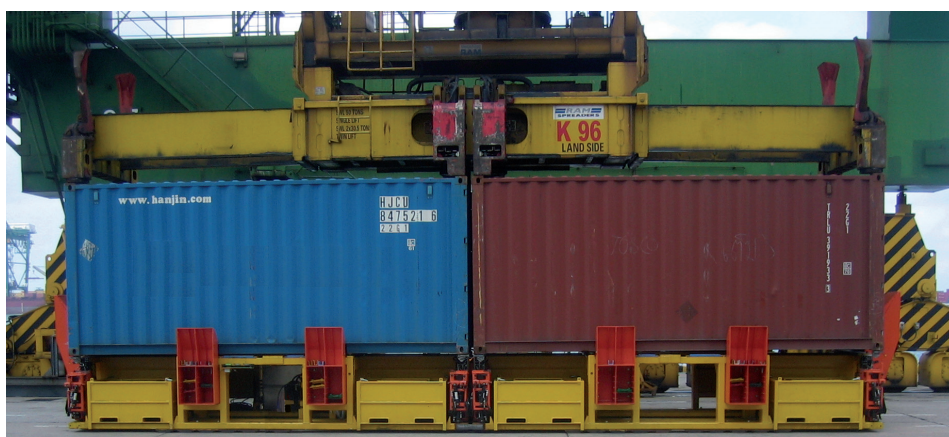
Una vez descargado el contenedor en el muelle y antes de su almacenamiento en el patio deben retirarse los *twistlocks* que permiten la sujeción de un contenedor a otro durante el transporte marítimo. Lo mismo ocurre en la operación inversa, antes de cargar el contenedor en el buque deben colocarse los *twistlocks* para posteriormente poder anclar unos contenedores a otros. En general estas operaciones se realizan de forma manual e inciden de modo negativo sobre la duración del ciclo de la grúa o de los equipos de interconexión —se estima que el tiempo medio para quitar los *twistlocks* con dos estibadores es de 20 segundos por contenedor—. También debe considerarse que suponen un riesgo para el personal de estiba que se encarga de realizarlas, puesto que debe estar cerca de

la zona de paso de las plataformas en tierra, y de la posición en el buque del contenedor que se está cargando.

La empresa británica RAM Spreaders desarrolló un equipo llamado *PinSmart* (RAM Spreaders, 2008), capaz de quitar los *twistlocks* de forma automática para la descarga y de ponerlos de forma semi-automática (con una reducción de los trabajos manuales de un 75%) en la carga.

El equipo se compone de una estructura metálica que soporta el contenedor, un sistema de guías que sujeta y posiciona el contenedor con precisión, y un ordenador integrado que mediante una pantalla táctil con una interfaz amigable facilita al operario el accionamiento de los módulos que manipulan los *twistlocks* situados en las esquinas y la parte central (cuando se trabaja en *twin-lift*, Figura 54).

Figura 54. Sistema automático *PinSmart* de manipulación de *twistlocks*



Fuente: RAM Spreaders

La estructura principal está diseñada para soportar las cargas y las vibraciones producidas durante la manipulación del contenedor. Este se fija mediante ocho guías laterales y dos frontales que se unen a la estructura mediante un elastómero flexible para amortiguar el impacto y reducir las vibraciones. La estructura contiene los ocho módulos (4 en las esquinas y 4 en el centro) capaces de manipular una amplia gama de *twistlocks* utilizando los acoples especialmente fabricados para cada modelo.

En la operativa de descarga, la grúa baja el contenedor del buque con los *twistlocks* colocados en las esquinas inferiores del contenedor, deposita el contenedor en el *PinSmart* y el operario da la orden en la pantalla de quitar los *twistlocks*. Una vez retirados, se depositan en unas cajas situadas junto a cada módulo y la grúa puede izar nuevamente el contenedor para colocarlo en el muelle o sobre la plataforma (dependiendo del equipo de patio).

Durante la operativa de carga, el operario coloca un *twistlock* en cada módulo del *PinSmart* de manera manual. Después se aparta del equipo, y la grúa, que previamente ha recogido el contenedor del suelo o de la plataforma, lo deposita en la estructura donde se colocan automáticamente los *twistlocks*. A partir de ese momento la grúa puede cargar el contenedor en el buque.

El equipo es capaz de operar en modo *twin* con dos contenedores de 20 pies, y en modo *single* con contenedores de 20, 40 o 45 pies (si tiene las cantoneras en la misma posición que los de 40 pies). El operario solo tiene que seleccionar en la pantalla táctil el tipo de *twistlocks* a manejar y el tamaño del contenedor, y dirigir la operativa mediante un pequeño control remoto conectado al ordenador situado en el equipo.

La plataforma se puede transportar fácilmente con una grúa de muelle o con un *straddle carrier* con *spreader* para manipular contenedores de 20 pies.

La empresa Kalp Technology ofrece una plataforma de trincado automático ALP (*Automatic Lashing Platform*). En las pruebas de funcionamiento (2010) en la terminal de Eurogate Bremerhaven se consiguieron unas productividades de grúa de 32 y 35 mov/hora en carga y descarga respectivamente, mientras que esa terminal tenía una media hasta ese momento de 24 mov/h, lo que supone una mejora de más del 33% de la productividad de la grúa. Desde noviembre de 2011 la plataforma TwinALP está funcionando en NTB Terminal Bremerhaven (Port Technology International, mayo 2011) (Figura 55).

Figura 55. Sistema ALP de KALP Technology en operativa de descarga



Fuente: KALP Technology GmbH

Al igual que el equipo de RAM Spreaders, la plataforma de KALP Technology coloca y retira los *twistlock* en el muelle en el momento de la carga o la descarga respectivamente de manera automática. Además permite realizar esa tarea en el muelle o directamente en la propia grúa STS. Cuando se utiliza en terminales de *straddle carriers* como equipo de interconexión, el tiempo de quitar o poner los *twistlock* en muelle se reduce prácticamente a cero, ya que el propio *straddle* puede coger el contenedor directamente de la plataforma ALP, mientras que si el equipo de interconexión son cabezas tractoras y plataformas la grúa debe coger el contenedor de la plataforma ALP y cargarlo en el equipo de interconexión (Kapelski, 2010).

Según el fabricante, el equipo ALP es capaz de trabajar con el 85% de los tipos de *twistlocks* que existen en el mercado de manera totalmente automática. El modelo con capacidad para operación *twin* tiene 8 cajones (uno por esquina de contenedor), que pueden almacenar 2.400 *twistlocks*, lo que le da capacidad de cargar y descargar una cubierta (300 movimientos) o una bodega (360 movimientos) enteras de un buque de 14.000 TEU de capacidad.

El modelo de KALP Technology se puede adaptar a los requisitos de cada terminal pues existen cuatro versiones: una básica impulsada con un sistema diésel o electro-hidráulico (ALP BASIC); otra completamente eléctrica (ALP ENERGY); una tercera que funciona con un sistema hidráulico auto-suficiente –genera la energía con el peso del contenedor

cuando es depositado sobre la plataforma— ideal para terminales con *straddle carriers*, y que es fácil de trasladar por la grúa de muelle o el propio *straddle* (ALP ECOTEC); y finalmente una con la estructura más pequeña, diseñada para las grúas de muelle con doble *trolley* con plataformas intermedias, y que se ofrece con posibilidad para funcionar de manera eléctrica o electro-hidráulica según las necesidades del cliente, incluso puede conectarse a la misma fuente de energía de la grúa (ALP SYSTEM).

Con cualquiera de estos modelos de KALP Technology, se consigue realizar la manipulación de *twistlocks* de manera automática para cualquier tamaño de contenedor (20', 20' en *twin*, 40', 45' con los *twistlocks* en la posición de los de 40') y para contenedores tipo *reefer*, *open top* y *flat racks*. La gestión del equipo se puede realizar de manera remota desde la cabina de la grúa con Wi-Fi.

El equipo permite incorporar otras funcionalidades como la medida del peso de los contenedores, un sistema de detección nuclear (ver apartado 7.1.2.1.4), y la integración en el TOS.

Así pues, estos sistemas (el de RAM Spreaders y el de KALP Technology) además de reducir los tiempos de espera al automatizar la operativa de colocación y retirada de *twistlocks*, ahorran costes operativos, aumentan la seguridad laboral y reducen la emisión de ruidos al depositar el contenedor sobre la plataforma que dispone de una superficie absorbente.

#### 7.1.1.1.5.2. Sistemas de apertura y cierre automático de twistlocks

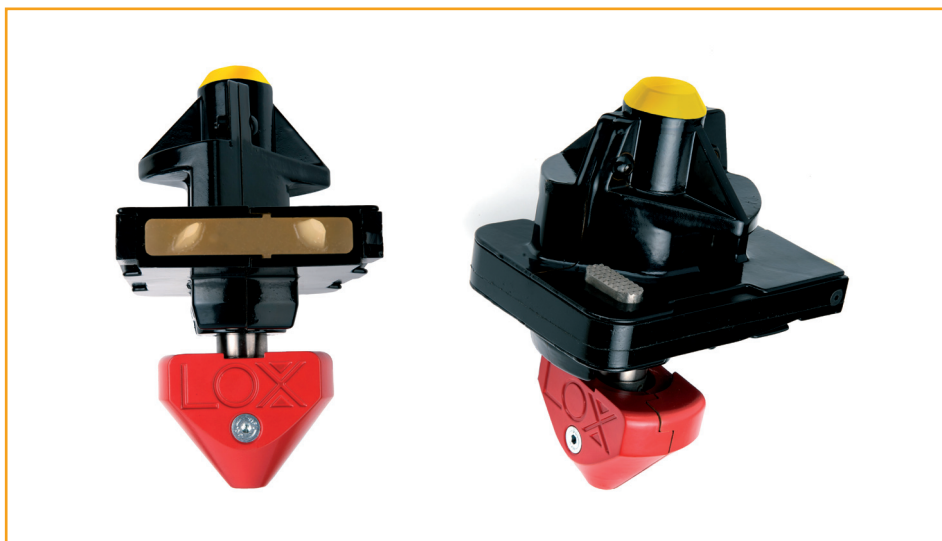
Cuando el contenedor está en el buque, antes de quitar los *twistlocks* o después de colocarlos, de forma manual o automática, es necesario abrirlos para destrincar los contenedores y cerrarlos para trincarlos respectivamente. En general esto lo realizan trincadores a bordo del buque de forma manual. Algunas empresas han desarrollado innovaciones que reducen la duración de estas tareas y mejoran la seguridad al evitar que un estibador tenga que acercarse a la ubicación del contenedor.

La compañía sueca Loxsystem ha desarrollado un modelo de *twistlock* que ha llamado RAT (*Remote controlled Automatic Twistlock*) que puede ser accionado desde la grúa mediante control remoto (Figura 56). El cierre del *twistlock* tipo RAT es similar al de un *twistlock* convencional mecánico de cierre automático: cuando un contenedor con los *twistlocks*

colocados en las esquinas de su base desciende y dichos *twistlocks* se introducen en las cantoneras superiores del contenedor inferior; se acciona una pestaña que hace que éstos giren automáticamente 90 grados y queden bloqueados (Loxsystem AB, 2008).

Estos *twistlock* tienen unos sensores que confirman si están abiertos o cerrados. Además pueden almacenar información adicional como la identificación del contenedor y el puerto de destino.

Figura 56. RAT (*Remote controlled Automatic Twistlock*) de Loxsystem



Fuente: Loxsystem AB

Los *twistlocks* incorporan un motor con una batería de 10 años de duración máxima –aunque Loxsystem recomienda ciclos de 7 años– que se acciona por control remoto desde la grúa (*Crane Control Unit, CCU*) o desde una unidad portátil de mano (*Portable Control Unit, PCU*, Figura 57).

Figura 57. Control Remoto (PCU) de los *twistlock* tipo RAT



Fuente: Loxystem AB

Con estos RAT se consiguen reducir los tiempos de trinca y destrinca de los contenedores, permitiendo la descarga inmediata después de la llegada del buque sin la necesidad de abrir los *twistlocks* manualmente, lo que mejora el rendimiento operacional, se reduce la estancia del buque en el puerto y los costes de mano de obra.

También mejora notablemente la seguridad de los trabajadores porque no necesitan estar junto a los contenedores para abrir o cerrar los *twistlocks*, porque el sistema confirma si los *twists* están abiertos o cerrados, y sólo se abren los *twistlocks* del contenedor que va a ser elevado en cada momento, manteniendo el resto perfectamente trincados.

Adicionalmente este sistema permite realizar de forma segura y eficiente las operaciones de descarga en *tandem* vertical (*Vertical Tandem Lift*) que consiste en elevar de modo silmutáneo dos contenedores, generalmente vacíos, pero uno colgado debajo del otro con los *twistlocks* bloqueados (Figura 58).



Figura 58. Operación *Vertical Tandem Lift* con *twistlocks* RAT



Fuente: Loxsystem AB

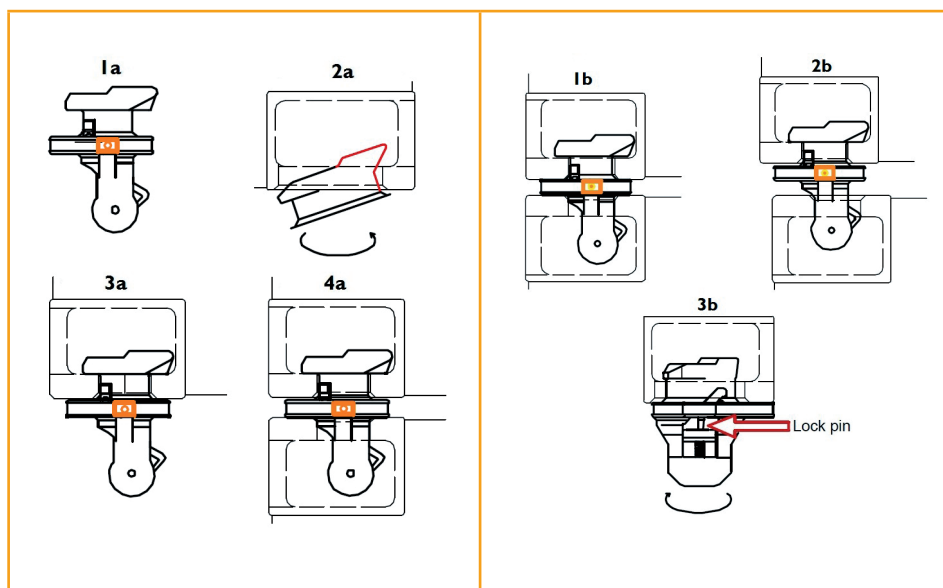
Este producto se comercializa desde 2008 y poco a poco va introduciéndose en el mercado.

La empresa Taiyo Seiki Iron Works, desarrolló en 2005 un *twistlock* totalmente automático, el modelo FA-8. El FA-8 tiene un mecanismo automático de apertura y cierre, que no precisa de manipulación por parte de ningún estibador en el buque durante la carga y descarga de contenedores. Es más ligero y pequeño que otros *twistlocks* automáticos. Su diseño permite que lo pueda colocar un manipulador sin ayuda (Kawasaki Kisen Kaisha Ltd., 2005).

En la Figura 59 se muestra esquemáticamente el funcionamiento durante las operaciones de carga y descarga de estos *twistlocks*. Para la operativa de carga, con el contenedor

sobre la plataforma o suspendido por la grúa con las cantoneras inferiores a la altura del estibador, este introduce los cuatro *twistlocks* (1a) girándolos en sentido antihorario (2a), y estos quedan automáticamente fijados por el mecanismo de bloqueo. El contenedor con los cuatro *twists* en posición (3a) se puede elevar y trasladar hacia el buque. Cuando la grúa lo coloca encima de un contenedor de cubierta, los pestillos de los *twistlocks* se introducen en las cantoneras del contenedor inferior y quedan bloqueados automáticamente (4a). En la operativa de descarga, con todos los *twistlocks* bloqueados trincando el contenedor superior e inferior (1b), cuando la grúa empieza a elevar el contenedor, la fuerza que realiza esta es suficiente para liberar los *twistlocks* del contenedor inferior (2b), y finalmente con el contenedor suspendido en el muelle o en la plataforma, el estibador mueve el cierre de bloqueo (*lock pin*) hacia la izquierda y gira el *twistlock* en sentido horario para liberarlo (3b).

Figura 59. Funcionamiento del *twistlock* totalmente automático FA-8



Fuente: Taiyo Seiki Iron Works Co. Ltd.

El funcionamiento es similar al de otros *twistlocks* automáticos desarrollados por empresas como Ship's Equipment Centre (SEC) Bremen, TEC Container o Celtec Rail.

### 7.1.1.1.6. Reducción de la distancia recorrida

La reducción de la distancia recorrida por el *spreader* en un ciclo acorta la duración del mismo. Un aspecto importante relacionado con esto es la adecuación del tamaño de la grúa al tamaño del buque. Adicionalmente existen sistemas de ayuda al gruista para calcular la trayectoria óptima del *spreader* (cargado o no) en condiciones de seguridad, simultaneando el desplazamiento vertical y horizontal.

#### 7.1.1.1.6.1. Grúa con pluma ajustable en altura

Cuanto mayor es el buque, más alta está la carga sobre cubierta y por tanto se necesitan grúas con la pluma a gran altura para poder trabajar sobre ellos. Si el buque es pequeño y se trabaja con grúas grandes, el operador estará situado a mucha distancia de la carga durante toda la operativa lo que empeora la precisión, los *spreaders* y las cargas realizan recorridos mayores a los necesarios y la productividad por grúa disminuye.

Consciente de estos inconvenientes en el Puerto de Virginia (*Port of Virginia*, Norfolk International Terminals, NIT) se dispone de dos grúas –fabricadas por ZPMC– en las que se puede bajar la pluma (*boom*) para ajustar su altura para la manipulación de buques más pequeños (Figura 60). Así se consigue que el operador esté más cerca de los contenedores, y por tanto mejora el control de los movimientos, la productividad y la seguridad. Estas dos grúas, junto con las otras doce que tiene la terminal, están entre las más grandes del mundo, con un alcance (*outreach*) de 27 contenedores en cubierta, es decir un alcance de 74,7 metros. El gran inconveniente es que la regulación en altura de la pluma encarece el equipo en un 30%.

Figura 6o. Grúa con pluma ajustable en altura de ZPMC en APM Terminals Virginia (Port of Virginia – EE.UU.)



Fuente: Fundación Valenciaport

En el apartado 7.2.1.5 se profundiza en la adecuación del tamaño de grúa al de buque en la medida que la terminal disponga de grúas de varios tamaños.

#### 7.1.1.1.6.2. Optimización de la trayectoria

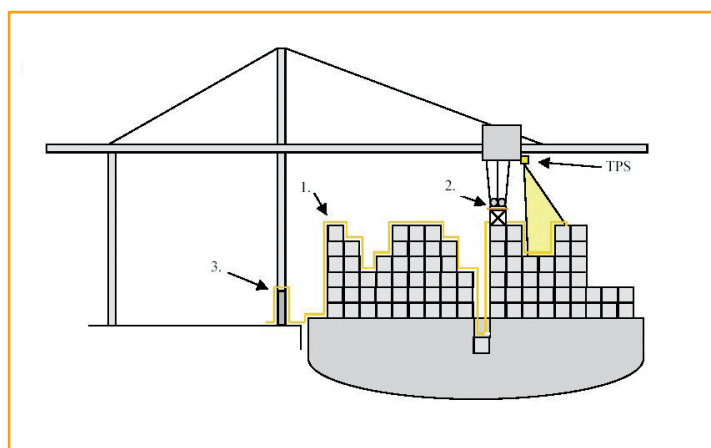
La empresa ABB Group, dentro el paquete ACLAS dispone de un sistema para calcular la trayectoria óptima del *spreader*. Es el llamado *Electronic Load Control* (ELC), que proporciona conjuntamente el control *anti-sway* (control del movimiento pendular) y el de posicionamiento, de manera que apoyándose en la información que le proporcionan el VAS (*Vehicle Alignment System*) sobre la posición de la plataforma y el LPS (*Load Positioning System*) sobre la del contenedor en el buque, el ELC realiza automáticamente el

traslado del *spreader* con o sin contenedor del buque a tierra y viceversa, calculando la combinación de movimientos horizontales y verticales más eficiente para minimizar la distancia recorrida y por lo tanto la duración del ciclo, lo que además de mejorar la productividad de la grúa, reduce el gasto de energía de ésta.

Adicionalmente el paquete ACLAS también dispone del sistema SPS (*Ship Profiling System*) que mejora el funcionamiento y la velocidad del ELC cuando se usan conjuntamente. El SPS mejora la seguridad en todo el ciclo como se menciona en el apartado 7.1.2.1.2.

El SPS es un dispositivo basado en tecnología láser que dibuja continuamente el perfil de contenedores del buque (Figura 61).

Figura 61. Sistema SPS de ABB



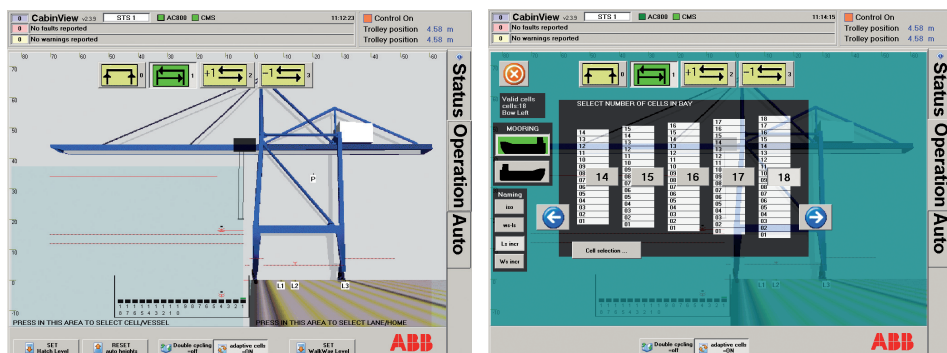
Fuente: Cederqvist (2011)

Funciona del siguiente modo: la primera vez que el carro de la grúa pasa sobre los contenedores cargados en el buque, el sistema mide la altura del buque y su carga y crea un perfil. Cada vez que el carro realiza una operación de carga o descarga de un contenedor, el perfil almacenado se compara con la posición del *spreader* sobre el buque. El perfil del buque se actualiza con cada operación de carga o descarga. Para asegurar la fiabilidad de los datos, el SPS los verifica midiendo de nuevo la altura de los contenedores en el buque

y comparándola con el perfil guardado. Cuando el *spreader* deja o recoge el contenedor, la altura del perfil guardado debe ser igual a la altura real del *spreader*. Si la diferencia es demasiado grande, se envía un aviso al operador de la grúa a través de la pantalla que constituye la interfaz con el usuario (*Cabin View Operation*, Figura 62).

El operador de la grúa puede activar y desactivar el SPS en cualquier momento desde la cabina o por control remoto desde la interfaz con el usuario (*Cabin View*) donde se representan la grúa, con la posición del *spreader* y el área del muelle y el perfil del buque.

Figura 62. Pantallas del *Cabin View Operation* del SPS de ABB



Fuente: Mair (2010)

Las empresas Liebherr y PACECO han desarrollado sus propios sistemas de “*ship profiling*” similares al SPS de ABB, como elemento de semi-automatización de las grúas de muelle. Al igual que en el caso de ABB, la grúa realiza una lectura del perfil de contenedores en el buque durante la descarga, y el sistema calcula una ruta óptima del *trolley* y del *spreader*, permitiendo que la grúa lo utilice de manera automática, lo que reduce la distancia recorrida, el tiempo y el consumo de energía en cada ciclo. El movimiento automático de la grúa se ayuda del sistema electrónico *anti-sway* incluido en el mismo paquete para una mayor optimización de cada ciclo. La parte final del movimiento, en la que se deja el contenedor en el muelle, se realiza manualmente.

### 7.1.1.1.7. Automatización de la carga y descarga de buques

Como ejemplo de las posibilidades de automatización de las grúas de muelle se analiza la propuesta de la empresa ABB, con una larga experiencia en sistemas de control de grúas. ABB ofrece para la ayuda a la operativa de carga y descarga de la grúa un paquete de sistemas denominado ACLAS (*Automatic Container Landing System*) que se pueden implementar juntos para automatizar la operativa de las grúas de muelle, o de modo independiente para facilitar la labor del operador de la grúa y alcanzar una mayor productividad (en lo que ellos denominan semi-automatización) (Cederqvist, 2009 y 2011).

Los sistemas tienen como objetivos reducir los tiempos de espera en el enganche y desenganche del contenedor; reducir la distancia a recorrer en cada ciclo carga y descarga; incrementar la seguridad de la operativa; y reducir el consumo energético. Incluso inciden en la mejora de la seguridad laboral.

La automatización de los equipos y procesos de la interfaz buque-muelle contribuye de forma notable a la mejora de la capacidad del sistema, al aumento de la seguridad de las operaciones y a la reducción de consumos de los equipos al optimizar su uso, ya que acota la influencia del factor humano permitiendo que las operaciones sean realizadas de forma mucho más segura, exacta y rápida.

A modo de resumen, el ACLAS incluye los siguientes sistemas:

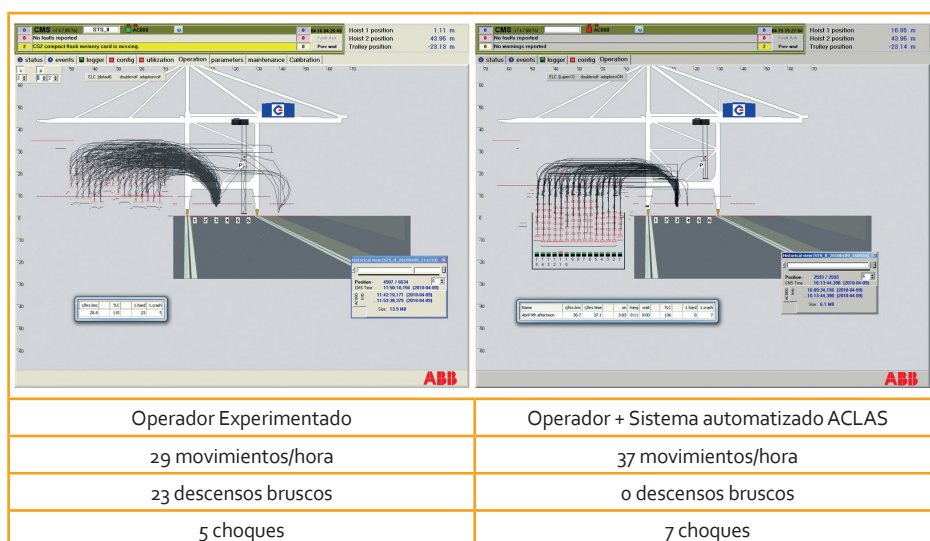
- *Electronic Load Control* (ELC) (apartado 7.1.1.1.6);
  - *Sway Control* (apartado 7.1.1.1.3)
  - *Position Control*
- *Vehicle Alignment System* (VAS) (apartado 7.1.1.1.4);
- *Skew Control* (apartado 7.1.1.1.3);
- *Ship Profiling System* (SPS) (apartado 7.1.1.1.6); y
- *Remote Control*.

En la primavera de 2011, ABB realizó unas pruebas durante la operativa de descarga en TSI Deltaport en Vancouver, donde se comparaban la productividad y los incidentes de un turno de descarga desde cubierta realizado de modo manual, con un turno de descarga desde bodega realizado en modo automático con el sistema ACLAS (Figura 63). En este test se entiende por incidentes (descensos bruscos y choques), a los golpes que se



le da al contenedor por un exceso de velocidad en el momento en que entra en contacto con el muelle o la plataforma, o cuando el *spreader* va a enganchar el contenedor en el buque para su descarga.

Figura 63. Operador experimentado vs. sistema automatizado ACLAS en TSI Deltaport (Puerto de Vancouver – Canadá)



Fuente: Cederqvist (2011)

Se observa que mientras que un operador experimentado consiguió una productividad de descarga de 29 mov/hora con contenedores de cubierta, un operador ayudado por el sistema ACLAS alcanzó 37 mov/hora descargando contenedores de bodega, operativa que en general tiene menor productividad que la de cubierta. Así, en un turno de 6 horas, con el sistema ACLAS se consiguieron realizar 222 movimientos mientras que en el turno anterior en una operativa más sencilla pero sin el sistema ACLAS se lograron 48 movimientos menos, o lo que es lo mismo, el ACLAS mejoró la productividad en un 27,6%. Además, estudios recientes realizados por ABB muestran que el 90% de los manipuladores de grúas han incrementado su productividad usando los sistemas de automatización desarrollados por esta empresa.

Respecto a los incidentes en la operativa de descarga, el número de descensos bruscos (golpes a velocidad mayor al 15% de la máxima de la grúa) disminuye radicalmente hasta desaparecer cuando se utiliza el sistema ACLAS (pasan de 23 a 0). En cambio, los llamados choques (golpes a velocidad mayor del 25% de la máxima de la grúa) aumentan con el sistema ACLAS, pero esto es debido, según ABB, a que el manipulador de la grúa no utilizó el sistema automático de “altura segura” cuando bajaba el *spreader* por las guías de las celdas en bodega.

Para la integración y coordinación de todos los sistemas del paquete, ABB ha desarrollado el Crane Information Management System (CIMS) o sistema de gestión de información de grúas. Se trata de una herramienta sencilla de utilizar, diseñada para recopilar y analizar en tiempo real el mantenimiento y la producción de información, permitiendo al operador de la grúa tomar decisiones efectivas y precisas. La información en tiempo real se transmite desde cualquier estación al CIMS mediante la red del sistema permitiendo el control remoto de operaciones.

El sistema CIMS tiene dos partes, la red *crane side* o lado grúa y la red *land side* o lado tierra. La primera está compuesta por aplicaciones como la estación de mantenimiento de grúas o Crane Maintenance Station (CMS) y la estación Cabin View (CV) o cabina de visionado donde se recogen los diagnósticos. La segunda (*land side*) contiene la aplicación LandStationView o estación de control en tierra, que permite el control remoto del mantenimiento y de las operaciones realizadas por el personal, la *LandStation Data Central* o central de datos de la estación en tierra, que es el punto de acceso de toda la red CIMS y provee el interfaz a toda la terminal, y opcionalmente el servidor de datos de la estación en tierra o LandStation Database Server que almacena el histórico de las grúas.

### 7.1.1.1.7.1. Control remoto

Una de las primeras etapas para automatizar las grúas de muelle, consiste en quitar la cabina del operador de la pluma de la grúa. La empresa ABB en colaboración con la terminal Manzanillo International Terminal (MIT) en Panamá hizo la prueba en 2011 de colocar la cabina en una pata de la grúa (Figura 64) desde donde se controla la operativa mediante cámaras (Holmgren, 2011). El manipulador tiene una postura más cómoda y además no experimenta las aceleraciones y deceleraciones del *trolley*. Al eliminar la limitación del confort del operador, se abre la posibilidad de incrementar la velocidad y

aceleración del *trolley*. La prueba demostró que operar desde una cabina fija no reducía la productividad.

Figura 64. Cabina ubicada en la pata de la grúa en Manzanillo International Terminal (Puerto Manzanillo – Panamá)



Fuente: Holmgren (2011)

La siguiente fase consiste en dirigir la operación desde un puesto de control remoto (*remote control station, RCS*) similar al que se usa con ASCs. El operador maneja la grúa desde un puesto de trabajo gracias a la información que suministran cámaras de última generación, incluso con vistas y ángulos no disponibles desde la cabina tradicional. Esta información es de gran ayuda para el posicionado del *spreader* acortando la duración del ciclo. Además contribuye a mejorar la seguridad de los operarios que están trabajando a bordo del buque.

Como ocurría con la cabina en la pata de la grúa, el confort del operador ya no es una limitación para la velocidad, aceleración, los sistemas *anti-sway*, y posicionado del *spreader*, que pueden incrementarse, lo que reduce la duración de los ciclos de carga y descarga y aumenta el rendimiento operacional.

La futura terminal de APM Terminals en Rotterdam (Maasvlakte II) ha pedido 8 grúas a Cargotec Corporation (Kalmar) con un alcance de 25 contenedores en cubierta, para buques de hasta 24.000 TEUs, las cuales serán operadas completamente por control remoto (WorldCargo News, junio 2012).

La implementación de los sistemas de automatización de las grúas de muelle se traduce en que la mayor parte del ciclo de carga y descarga se puede desarrollar de forma automática desde el momento en que el operador o el TOS dan la orden de que se inicie el movimiento. El manipulador puede dedicarse a supervisar el funcionamiento general centrándose en los momentos críticos del ciclo.

La relación entre los equipos de interconexión y la grúa puede ser automática si se cuenta con una plataforma de colocación y retirada de *twistlocks* (apartado 7.1.1.1.5.1) y algún sistema para el posicionamiento de los vehículos de interconexión en muelle (apartado 7.1.1.1.4).

A las mejoras de productividad y ergonomía de la operación automática se puede añadir la eficiencia energética como ventaja adicional, pues al no tener que mover la cabina los motores del *trolley* pueden ser más pequeños y por tanto consumen menos energía.

### **7.1.1.2. Incremento del número de contenedores movidos por ciclo o por metro lineal de atraque**

Las primeras grúas pórtico para contenedores estaban dotadas de un único *spreader* (*single*) que solo podía manipular contenedores de 35 pies, los únicos que había. Desde finales de los años 50 la *American Standards Association* instó a la ISO (*International Organization for Standardization*) para que iniciara un proceso de estandarización del tamaño de los contenedores debido a la necesidad de compatibilizar sus medidas con gálibos ferroviarios, viarios, equipos de manipulación, buques, etc. (*American Standards Association* 1960/1961 y 1965 e ISO 1967). Así se fijaron los tamaños de 10, 20, 30 y 40 pies. El último en incorporarse al mercado fue el de 45 pies (Monfort et al., 2011a).

La variedad de longitudes provocó la aparición de los *spreader* adaptables o telescópicos que eran capaces de manipular contenedores de varios tamaños, de uno en uno (*single*).

Hoy en día existen por un lado fabricantes de *spreaders* y otros elementos de elevación como Bromma Conquip, RAM Spreaders, Elme Spreader AB, Mitsubishi Heavy Industries (MHI), MES Liften, VDL Containersystemen y Stinis entre los más importantes, y por otro, fabricantes de grúas de muelle que producen sus propios *spreaders* como ZPMC, Kalmar (Cargotec Corporation) o Fantuzzi Reggiane. Todos ellos han ido adaptando sus productos a las necesidades de sus clientes.

Como medida para aumentar el rendimiento operacional surgió la idea de aumentar el número de contenedores manipulados en cada ciclo de la grúa de muelle, y así aparecieron los *spreaders twin*, capaces de manipular simultáneamente dos contenedores de 20 pies.

Esto supuso duplicar la capacidad de carga de las grúas, pasando de ser la correspondiente al peso máximo de un contenedor, 30.480 kg, a 61 toneladas para poder manipular dos contenedores llenos de 20 pies en *twin*.

Desde los *spreaders* iniciales se ha evolucionado a los *tandem twin-lift* que permiten manipular cuatro contenedores de 20 pies a la vez. Para ello se requiere una capacidad de carga de las grúas de más de 120 toneladas.

La capacidad de carga de la grúa condiciona el número de contenedores que se pueden cargar o descargar simultáneamente en cada ciclo, limitando el peso máximo en toneladas que está preparada para soportar en condiciones de seguridad.

En los siguientes apartados se describen en primer lugar las innovaciones en *spreaders* y grúas que sirven para incrementar el número de contenedores por ciclo.

Por otra parte, las dimensiones de las grúas y los buques limitan el número máximo de equipos que pueden trabajar simultáneamente sobre los buques. Existen algunas propuestas para incrementar ese número como las grúas con dos *trolleys* en la misma pluma, las de dos plumas en la misma estructura, el diseño *FastNet Crane*, e incluso el atraque indentado que se estudia como medida de gestión en el apartado 7.2.1.2

#### 7.1.1.2.1. Tipologías de carros y *spreaders*

##### 7.1.1.2.1.1. *Spreader twin-lift*

Estos *spreaders* tienen un sistema que permite trabajar con un contenedor de 40' o con dos de 20' (en *twin*) en la misma línea sujetándolos con *twistlocks* adicionales en la zona central (Figura 65). En el caso de que el *spreader* sea telescópico, como ocurre en la mayoría de casos, también se podrá manejar un solo contenedor de 20' con el *spreader* en la posición más recogida.

Figura 65. Dos contenedores de 20 pies izados mediante *spreader twin-lift* de Bromma



Fuente: Fundación Valenciaport

#### 7.1.1.2.1.2. Spreader tandem

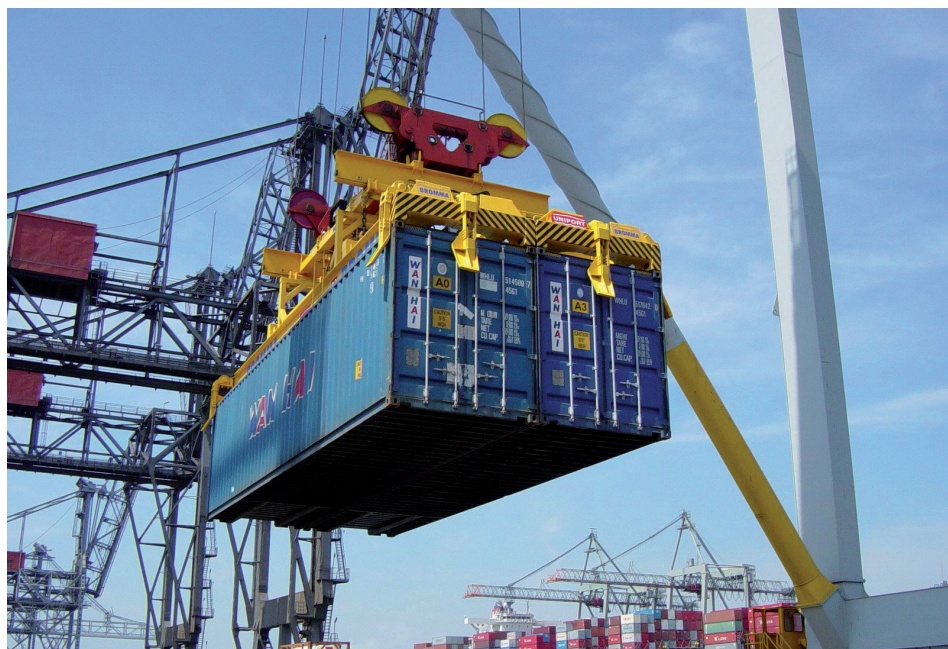
Este sistema consiste en dos *spreaders* unidos bajo el mismo *trolley*, colocados en paralelo uno al lado del otro. La unión mecánica de los dos *spreader* permite adaptarse a las diferentes alturas de los contenedores, así como ajustarse a las diferentes distancias entre los laterales de los contenedores que puede haber en el buque o a la hora de colocarlos en dos plataformas adyacentes en muelle (Goussiater, 2007). Existen dos tipos de *spreader tandem*, los *single* y los *twin*.

Los *spreader tandem single* solo pueden manipular uno o dos contenedores de 40 pies. Son adecuados para terminales que tienen un alto porcentaje de contenedores de este tamaño y quiere mejorar la productividad de la operativa, pero tienen grúas con capa-



cidad de elevación limitada. Como ejemplo, el fabricante Bromma ofrece un *spreader tandem* fijo (Figura 66) capaz de manipular 1 o 2 contenedores de 40' simultáneamente.

Figura 66. *Spreader tandem* de 40 pies

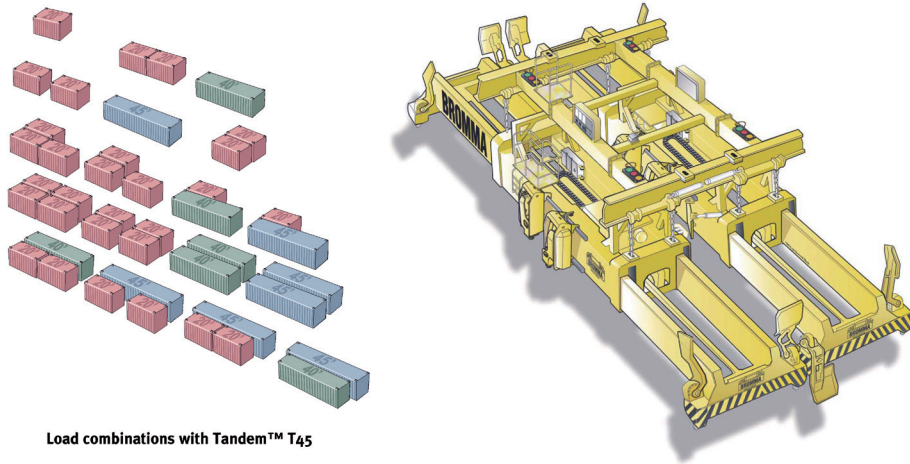


Fuente: Bromma Conquip

Una innovación adicional es la que suponen los *spreaders tandem twin*, pues añaden la posibilidad de que cada uno de los dos *spreaders* pueda manejar simultáneamente 2 contenedores de 20 pies. Dependiendo del modelo de *spreader* existen muchas posibles combinaciones de carga de contenedores según sus tamaños. Como se puede ver en la Figura 66, el modelo *tandem* T45 de Bromma puede manipular todas las posibles combinaciones, desde un único contenedor de 20' hasta cuatro de 20', pasando por cualquier combinación de uno o dos contenedores de 20', o uno de 40' o 45' con otro de 20', 40' o 45'.



Figura 67. Combinaciones de cargas con *spreader tandem* T45 de Bromma



Fuente: Bromma Conquip

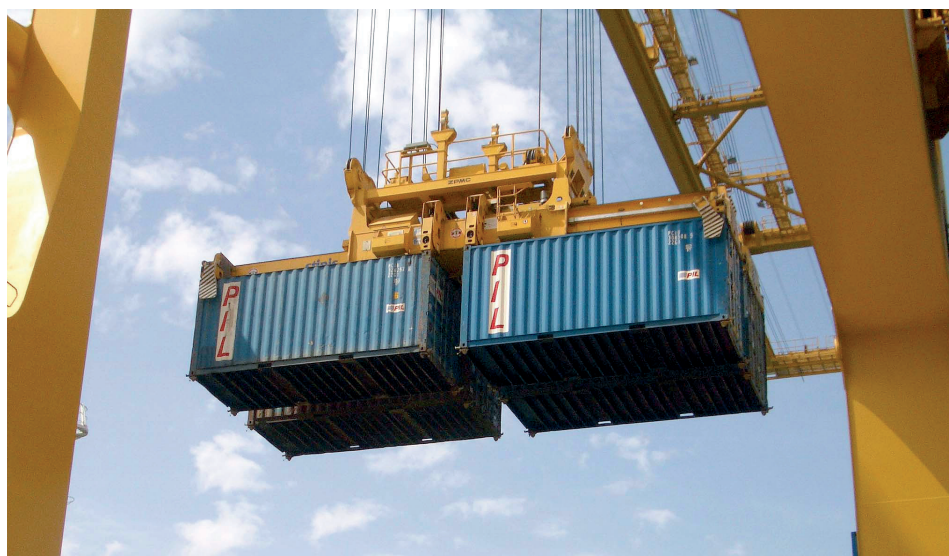
Para conseguir el máximo rendimiento de estos *spreader tandem twin* se necesitan las grúas de muelle de mayor capacidad de elevación. Teniendo en cuenta que un *spreader* de estas características tiene un peso aproximado de 31 toneladas, y que cada uno de los *spreaders* manipula hasta 65 toneladas —correspondientes a dos contenedores de 20 pies cargados—, la capacidad bajo gancho de la grúa que se necesita es de más de 160 toneladas. En realidad la probabilidad de tener que manipular cuatro contenedores de 20 pies completamente cargados es bastante baja. De hecho las terminales estiman que la carga media de un contenedor de 20 pies está entre 20 y 25 toneladas. Por tanto para una grúa de muelle que vaya a utilizar este tipo de *spreader* se debe exigir una capacidad de carga mínima bajo gancho entre 115 y 135 toneladas.

La terminal Qingdao Qianwan Container Terminal del Puerto de Qingdao (China) cuenta con grúas *spreader tandem* con *twin-lift*. Tienen una altura de elevación sobre el muelle de 43 metros, y un alcance frontal máximo (*outreach*) de 65 metros, con una capacidad de elevación bajo *spreader* de 100 toneladas, por lo que pueden manipular hasta 4 contenedores de 20 pies con una carga media de 25 toneladas cada uno.

El Puerto de Khorfakkan (Sharjah Ports) de Emiratos Árabes Unidos tiene una terminal con grúas *Mega-max* de Liebherr con *spreader tandem* con *twin-lift*.

Según la revista WorldCargo News (febrero 2011), el fabricante ZPMC ha vendido unas 250 de sus grúas con sistema *tandem twin* (Figura 68), aunque según esta publicación ninguna de las peticiones de grúas realizadas entre julio de 2010 y julio de 2011 a otros fabricantes distintos a ZPMC solicitaban *spreaders* tipo *tandem twin*.

Figura 68. *Spreader tandem con twin-lift*



Fuente: Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co. Ltd. (ZPMC)

#### 7.1.1.2.1.3. Triple spreader con twin-lift

Existe la posibilidad de aumentar aún más la productividad de la grúa utilizando tres *spreaders* simultáneos. Tal y como se puede ver en la Figura 69 con este sistema se pueden mover tres contenedores de 40 pies o 6 de 20 pies. El límite de carga viene determinado por la capacidad máxima de la grúa, aunque el sistema se utiliza sobre todo para contenedores de 20 vacíos. Esta innovación solo tiene aplicación en puertos con un altísimo volumen de carga o descarga por buque, como pueden ser algunos puertos asiáticos. Este sistema trabaja con menores velocidades de translación del carro y del *spreader*, por

lo tanto el aumento de productividad es menor al triple del sistema convencional con un único *spreader*. Además, trabajar en un mismo buque durante toda la operativa con triple *spreader* es imposible debido a la estiba de los contenedores.

Figura 6g. Grúa de ZPMC moviendo tres contenedores de 40 pies



Fuente: WorldCargo News

El primer caso de grúas con triple *spreader* fue instalado por ZPMC en la Terminal de Mawan en el Puerto de Shenzhen en febrero de 2007 (Figura 2I), con una capacidad de carga para el triple *spreader* de 120 toneladas y 80 toneladas con el doble *spreader*.

La configuración de la grúa consiste en tres *spreaders*, 2 *headblocks* (estructura que une la grúa con el *spreader* donde se colocan las poleas de los cables de elevación) y 2 motores de elevación. Del *headblock* del lado mar cuelgan dos *spreaders* unidos de manera fija (doble *spreader*), y del *headblock* del lado tierra uno *single*, que se puede conectar a los otros dos. Esta grúa puede operar en los siguientes modos:

- Modo *triple spreader*: el *spreader* lado tierra está conectado a los del lado mar.
- Modo *tandem* o doble *spreader*: los dos *spreaders* del lado mar están operativos mientras el *spreader* del lado tierra está desconectado y recogido en la parte alta de la pluma.
- Modo *single*: el *spreader* del lado tierra está operativo mientras los dos *spreaders* del lado mar están desconectados y recogidos en la parte alta de la pluma.

Según ZPMC las ventajas de las grúas con estos *spreaders* triples (Goussiatiner, 2007), son la mejora de la productividad de la operativa de carga y descarga y que al ser grúas que necesitan una mayor capacidad de carga que las convencionales, cuando trabajan con el *spreader* en modo *single* pueden manipular contenedores más pesados incluso a velocidades de elevación similares al movimiento sin carga.

Por el contrario, ZPMC destaca ciertas restricciones en el uso del *triple spreader* en su grúa, ya que con la capacidad referida de 80 y 120 toneladas es capaz de manipular hasta dos contenedores de 40 pies cargados con el doble *spreader*, o 3 contenedores de 40 pies con el triple *spreader*, pero no puede manipular 4 o 6 contenedores de 20 pies llenos respectivamente si el peso por contenedor supera las 20 toneladas. También existe el requisito de que los camiones deben estar perfectamente alineados para que el *spreader* triple pueda descargar o cargar los contenedores de manera eficiente sin perjudicar a la productividad de la grúa. Y por otra parte, la operación de quitar y poner los *twistlocks* en la carga o descarga de contenedores de cubierta entraña más riesgo para los estibadores que en una operativa con carga en *single*, ya que estos tienen que pasar por los estrechos pasillos que dejan las plataformas. Por eso es recomendable utilizar los sistemas *multi-spreader* exclusivamente para operativas en la bodega del buque en las que no se necesite colocar *twistlocks*.

Pero el verdadero problema de las operativas con *multispreader* (dobles o triples) es que para que sean realmente productivos la planificación de carga y descarga del buque debe estar escrupulosamente programada y controlada, en primer lugar en lo que se refiere a la disposición de los contenedores en el buque, y en segundo respecto la asignación de vehículos de interconexión para la operativa de carga y descarga. Así pues, es imprescindible un buen *software* (TOS) que gestione de modo adecuado tanto la planificación de la descarga como la del patio. En este sentido, la empresa Navis que comercializa el sistema operativo Navis SPARCS para terminales de contenedores, ha creado un nuevo módulo denominado *Multilift* para ayudar a gestionar los problemas que aparecen con el uso de los *spreaders tandem twin* (WorldCargo News, febrero 2011).

Por otra parte, para evitar la congestión de vehículos en la zona de carga y descarga del muelle, es preferible utilizar *straddle* (SC) o *shuttle carriers* (ShC) a plataformas, ya que así se consigue desacoplar el ciclo de la grúa de muelle de los equipos de interconexión (ver apartado 10.2) liberando la zona de entrega y recogida de contenedores en muelle en menor tiempo.

Como conclusión se puede afirmar que las operativas con *multisreader* solo son interesantes cuando:

- el buque permita realizar muchos movimientos consecutivos de dos o tres contenedores de 40' o cuatro o seis de 20', por lo que los candidatos ideales para este tipo de operativas son los grandes buques de transbordo, que descarguen *bays* completos de la bodega, especialmente de contenedores de 20' vacíos;
- los equipos de interconexión entre muelle y patio permitan desacoplar su funcionamiento del ciclo de la grúa de muelle (SC, ShC, ...) y,
- el TOS de la terminal sea lo suficientemente avanzado para gestionar de manera eficiente tanto la carga y descarga en el buque como el almacenamiento en el patio.

### 7.1.1.2.2. Tipología de grúa

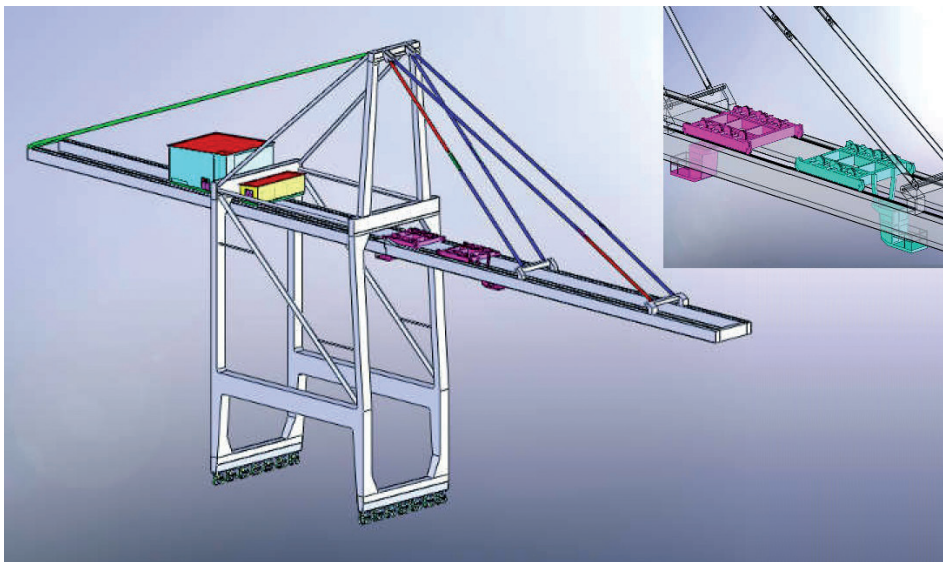
Existen algunas innovaciones en grúas desarrolladas con el objetivo de aumentar el número de contenedores movidos en cada ciclo. De las tres que se analizan a continuación, solo la segunda propuesta está en funcionamiento. Las otras dos son diseños conceptuales y todavía no se ha fabricado ninguna grúa.

#### 7.1.1.2.2.1. Grúas con dos trolleys sobre la pluma

En las grúas con dos *trolleys* en la pluma no existe plataforma intermedia. Cada *trolley* hace la operación completa de muelle a buque y viceversa en la carga y descarga. Su uso requiere dos operadores o dos sistemas de control automatizados, uno por *trolley*. Esta idea apareció por primera vez en las grúas de Ansaldo para la terminal Kaohsiung de Sea-Land (Jordan, 1997). Pezzouli (2008) ha retomado la idea con un prototipo (Figura 70) donde los *trolleys* pueden trabajar con *spreader single* o *tandem*. En este tipo de grúas los dos *trolleys* circulan por la misma pluma y sus movimientos no son independientes, deben moverse de forma acompasada, ayudándose de sistemas eléctricos, ópticos y acústicos que proporcionen suficiente control para evitar colisiones entre ambos y entre las cargas suspendidas. Así, con este sistema no se consigue duplicar la productividad por el hecho de tener dos *trolleys* funcionando simultáneamente, pues la duración del ciclo será la mayor de los dos *trolleys*. Como ejemplo un retraso del *trolley* del lado tierra al enganchar un contenedor, retrasará también al otro *trolley*, que no podrá completar el ciclo hasta que el primer *trolley* deje de interferir en su trayectoria. Pero la mayor desventaja son los elevados costes de mano de obra debido a los dos gruístas. Así, esta grúa no es una

opción viable si no se automatiza la operativa de carga y descarga. Liftech (Jordan, 1997) propone que los sistemas anticolidión que incorporan se utilicen como elementos para automatizar las grúas sin doble *trolley*.

Figura 70. Grúa con doble *trolley* en la misma pluma



Fuente: Pezzouli (2008)

#### 7.1.1.2.2.2. Grúas dual hoist

Como sistema mixto entre el *spreader tandem* y la grúa con dos *trolleys* en la pluma, ZPMC ha diseñado una grúa con un único *trolley* pero con dos sistemas de elevación, es decir con dos *spreaders*, y no uno doble, denominada grúa *Dual Hoist tandem* (Figura 71).



Figura 71. Grúas *Dual Hoist Tandem* (DHT40) de ZPMC



Fuente: Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co. Ltd. (ZPMC)

La diferencia entre una grúa *single hoist* con *spreader tandem* como las vistas en el 7.1.1.2.1.2, y las *dual hoist tandem* es que las primeras tienen un *trolley* y un solo *headblock* del que cuelga un *spreader tandem twin* (Figura 67), mientras que en las grúas *dual hoist* existe un *trolley* con dos sistemas de elevación independientes y dos *headblocks* de los que cuelgan sendos *spreaders twin*, pudiéndose enganchar entre sí para funcionar en modo *dual hoist* similar al *tandem* (Figura 70), o utilizar solo uno de ellos en modo *single hoist*, el de lado mar o el de lado tierra indistintamente, mientras el *headblock* y el *spreader* del otro permanecen anclados bajo el *trolley* como ocurría con el funcionamiento del triple *spreader* detallado en el apartado 7.1.1.2.1.3.

Los inconvenientes de estas grúas son que la consola del operador es más compleja pues tiene que controlar dos sistemas de elevación; el mayor consumo energético, porque la grúa debe incorporar sistemas auxiliares que permiten al operador controlar lo que



sucede con los dos *spreaders*; y el mayor peso de las grúas que se traduce en cargas por rueda más elevadas (Jordan et al., 2007).

Como se ha comentado, en modo *dual hoist* los *headblocks* se enganchan entre sí mediante unos cilindros y abrazaderas para evitar colisiones de los *spreaders* y los contenedores. Este sistema de enganche permite controlar los movimientos de balanceo de los *spreaders* (*skew*, *trim* y *list*, ver 7.1.1.1.3), los tirones en los cables (ver apartado 7.1.2.1.1), y las diferencias en las separaciones y alturas entre contenedores. Dichas separaciones pueden estar entre 1,3 y 1,5 metros en el muelle, en función del equipo de patio –plataformas o *straddle carriers*–, y reducirse a cero en la bodega o en la cubierta del buque. Además este sistema es capaz de soltarse automáticamente cuando se producen enganches en alguno de los contenedores para no dañar a la estructura de la grúa ni provocar un accidente por caída de la carga.

En la operativa de carga los *headblocks* se pueden desenganchar una vez los contenedores han entrado en las guías de las celdas de las bodegas de los buques. Una vez se han descargado los contenedores la operación de re-enganche de los *spreaders* es difícil de hacer en el aire. Si no se anclan la velocidad de retorno de los *spreaders* vacíos al muelle será mucho más lenta para evitar colisiones entre ellos. La posibilidad de desengancharse facilita la carga y descarga simultánea de dos contenedores que no se encuentren en la misma altura de la bodega.

La capacidad de carga de esta grúa es de 80 toneladas en *dual hoist* (combinando los dos *spreaders*), pudiendo llegar hasta 120 toneladas. Adicionalmente hay que considerar la limitación de cada uno de los *spreaders* para el funcionamiento en *single hoist*, que en el lado tierra (*landside spreader*) suele ser de 65 toneladas, y en el lado mar (*waterside spreader*) de 40 a 65 toneladas.

A fecha de 2012 este tipo de grúas solo las ofrece ZPMC con unidades para Dubai Port Authority, Hanjin Shipping y Pusan Newport Company en Corea, el Puerto de Xiamen en China y TSI en Canadá, Yantian International Container Terminals (Jordan et al., 2007; Christerson, 2011).

#### 7.1.1.2.2.3. Grúas de doble pluma (double boom)

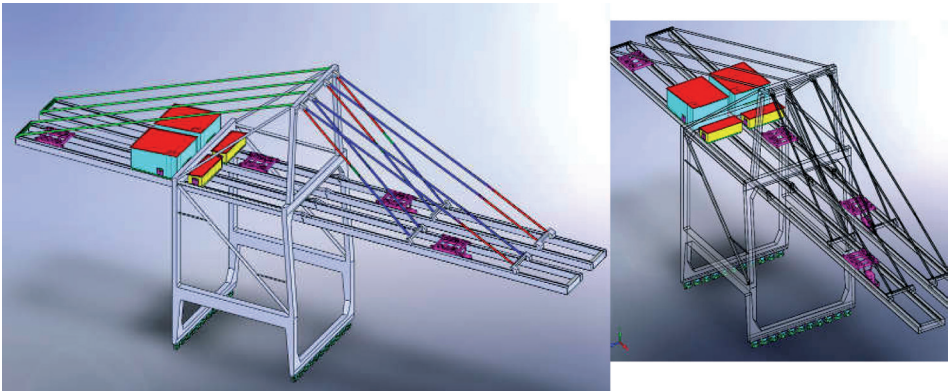
Como en el caso de la grúa con dos *trolleys* en la pluma (apartado 7.1.1.2.2.1), la grúa de doble pluma es un prototipo desarrollado por Fantuzzi (Figura 72). Como en el otro

diseño lo que busca es aumentar la productividad de la grúa, que tendría dos plumas en lugar de una. La ventaja principal es que se puede trabajar en dos bodegas contiguas simultáneamente. Asimismo este tipo de grúas podrían tener dos *trolleys* con *spreader tandem* en cada pluma, cada uno de estos operado por su respectivo gruista. Hipotéticamente se podrían manipular hasta 16 contenedores de 20' a la vez. Nominalmente la productividad se cuadruplica respecto a una grúa convencional con *spreader tandem* o una *dual hoist*, pero la necesidad de mano de obra también aumenta en la misma proporción (Young, 2009).

Algunas de las desventajas de este prototipo son: el mayor coste del equipo; la necesidad de refuerzo del muelle debido al mayor peso de la estructura de la grúa; en el caso de que una de las plumas acabe la carga o descarga en una bodega, se deberá esperar a que la otra termine su trabajo para desplazar la grúa, con lo que la productividad de la grúa vendrá determinada por la pluma más lenta o con más operaciones que realizar por bodega; el espacio debajo de la grúa para la entrega y recogida de los contenedores deberá ser mayor y mejor gestionado para que no haya congestión de plataformas o *straddles*; se necesitan más equipos de interconexión para atender a las dos plumas lo que incrementa el coste y reduce la seguridad laboral.

Como ocurre con la grúa de dos *trolleys* en la pluma, este prototipo no se ha construido y por tanto no funciona en ninguna terminal.

Figura 72. Grúa de doble pluma

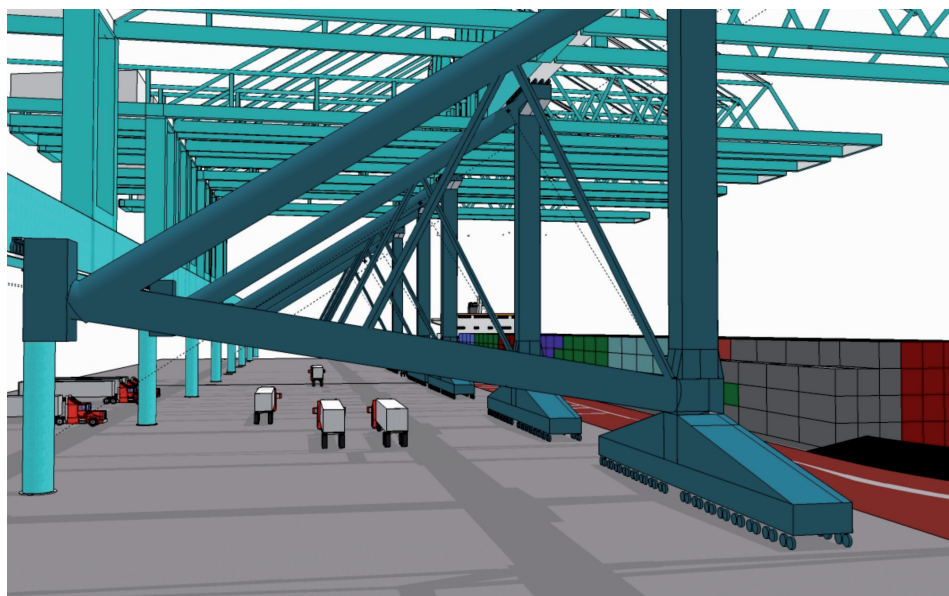


Fuente: Pezzouli (2008)

7.1.1.2.2.4. “Estructura continua” - FastNet crane

El operador APM Terminals ha propuesto un innovador diseño para grúas de muelle. Consiste en una estructura continua a lo largo del muelle con los apoyos traseros fijos y las patas delanteras móviles, sobre la que se disponen las plumas (Figuras 73 y 74).

Figura 73. Estructura *FastNet*. Diseño de APM Terminals

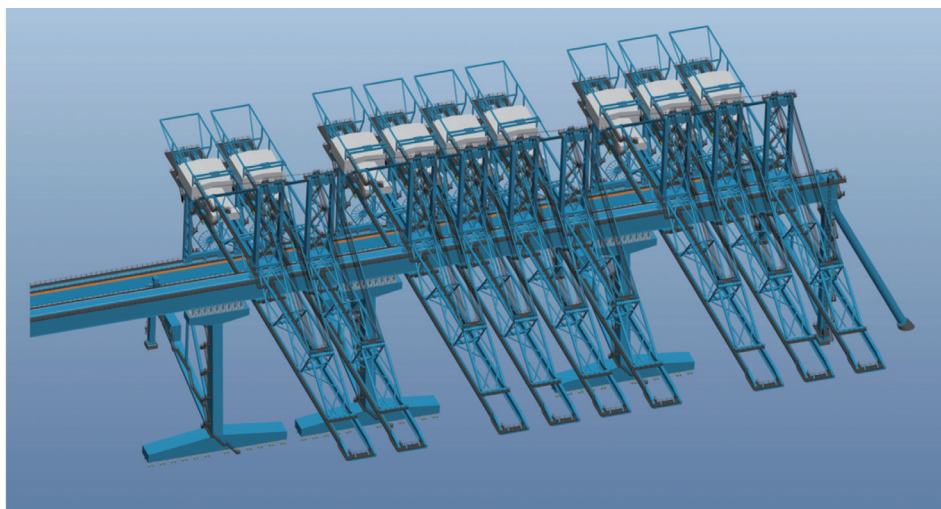


Fuente: Clarke (2011)

Las patas pueden moverse por debajo de las plumas para colocarlas en una posición que no sea delante de la bodega que se va a operar.

La gran ventaja de este sistema es que las grúas pueden trabajar sin la limitación de separación mínima que existe para las grúas tradicionales. Esto permite asignar más grúas a la operativa de cada buque, incluso trabajar en bodegas contiguas, pudiéndose alcanzar productividades medias de buque de 450 mov/hora.

Figura 74. *FastNet*. APM Terminals



Fuente: WorldCargo News (mayo 2011)

### 7.1.2. Incremento de la seguridad y la protección

Este apartado se centra en las innovaciones tecnológicas que persiguen el aumento de la seguridad, tanto lo que se refiere a la seguridad en el trabajo tales como prevención de riesgos y accidentes laborales (*safety*), como la seguridad contra agentes externos (*security*).

#### 7.1.2.1. Sistemas de prevención de accidentes

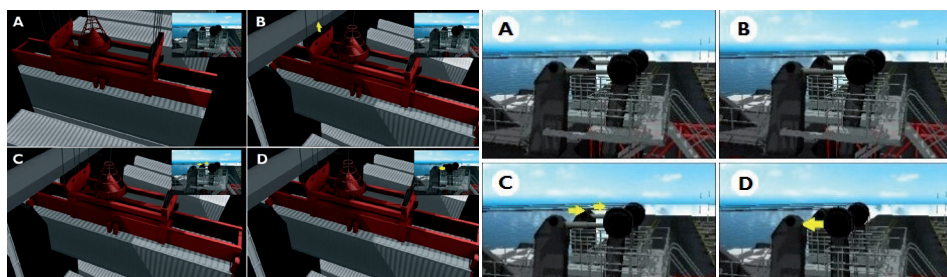
##### 7.1.2.1.1. Sistema anti-enganche o *anti-snap*

Como se comentó en el apartado 7.1.1.1.1, las grandes aceleraciones y velocidades del *spreader* que pueden desarrollar las grúas modernas agravan el problema que existe en el momento de la elevación o descenso de un contenedor (o de varios manipulados simultáneamente), cuando la carga empieza a elevarse desde la posición de reposo, cuando la carga en descenso se detiene, pero sobre todo cuando durante la elevación se engancha en las guías de la bodega del buque, ya que toda esa gran cantidad de energía mecánica

(si estaba en reposo) o cinética (si ya se movía), se tiene que disipar entre el cable, la maquinaria de elevación y la propia estructura de la grúa sin que se deteriore ni se rompa ninguno de estos elementos. Para minimizar este problema, muchas veces se incorpora al sistema anti-balanceo (apartado 7.1.1.1.3.1) un sistema anti-enganche o *anti-snag*, que evita que el cable reciba directamente toda la tensión generada y se rompa.

El fabricante Konecranes propone un sistema mecánico *anti-snag* con zapatas de fricción, que está directamente ubicado en la contrapluma (*backreach*), y que cuando detecta que la carga se bloquea, las poleas que enrollan los cables que tiran del *spreader* para elevar la carga se mueven hacia delante para disipar la energía y automáticamente se corta la potencia de elevación de la grúa (Figura 75). Según el propio fabricante, con este sistema se consigue una solución fiable, sin que precise mantenimiento y proporciona una gran seguridad.

Figura 75. Funcionamiento del sistema *anti-snag* de Konecranes



Fuente: Konecranes Ausió S.L.U.

#### 7.1.2.1.2. Sensores láser de medida

El movimiento del contenedor durante el ciclo de carga y descarga debe salvar diversos obstáculos durante su trayectoria, como la propia estructura de la grúa, los contenedores de la cubierta del buque o la borda de este cuando se está trabajando en bodega. Las empresas ABB Group, Liebherr-Werk Nenzing GmbH o Lase GmbH Industrielle

Lasertechnik, como se comentó en el apartado 7.1.1.1.6, tienen unos sistemas de identificación del perfil de los contenedores (*Ship Profiling System* en el caso de ABB Group, apartado 7.1.1.1.6.2) que mediante unos sensores láser realizan constantemente perfiles de los contenedores en cubierta y bodega, ayudando al operador a conseguir un posicionado del contenedor suave y a la mayor velocidad posible tanto en cubierta como en bodega. Además el sistema identifica posibles trayectorias del *spreader* teniendo en cuenta que la altura de los contenedores sobre cubierta puede ser mayor a la altura de la carga que lleva el *spreader*, evitando colisiones y contribuyendo a una operación segura tanto para el manipulador como para los operarios que trabajan sobre el buque. Estos sistemas también hacen que el *spreader* reduzca su velocidad suavemente hasta detenerse cuando el operador mueve la carga hacia un obstáculo, avisándolo de que el movimiento se ha paralizado debido a la pila de contenedores que hay sobre cubierta. El sistema anti-colisión de Lase consiste en dos escáneres láser colocados en la pluma de la grúa para facilitar el perfilado de buques incluso de tamaño superior a 20 contenedores de manga, y ha sido instalado en varias grúas de grandes puertos chinos (WorldCargo News, septiembre 2011).

Por otra parte, la pluma de las grúas a menudo tiene que trabajar cerca de las estructuras del buque debido a la alta densidad de carga a bordo. El poco espacio para operar supone un alto riesgo de colisión que puede causar serios daños en el buque o en la grúa. Estas situaciones se pueden evitar con un sensor de medida, que mide de modo continuo el espacio disponible y avisa al sistema de control de la grúa cuando la distancia es excesivamente pequeña.

La empresa SICK es especialista en sensores de medición láser que pueden ser utilizados en las grúas de puerto, tanto para evitar la colisión entre la pluma y el buque como entre grúas (Figura 76). Este tipo de sensores también se pueden utilizar para evitar el choque entre RTGs.



Figura 76. Sensor anti-colisión entre grúas de SICK



Fuente: SICK AG

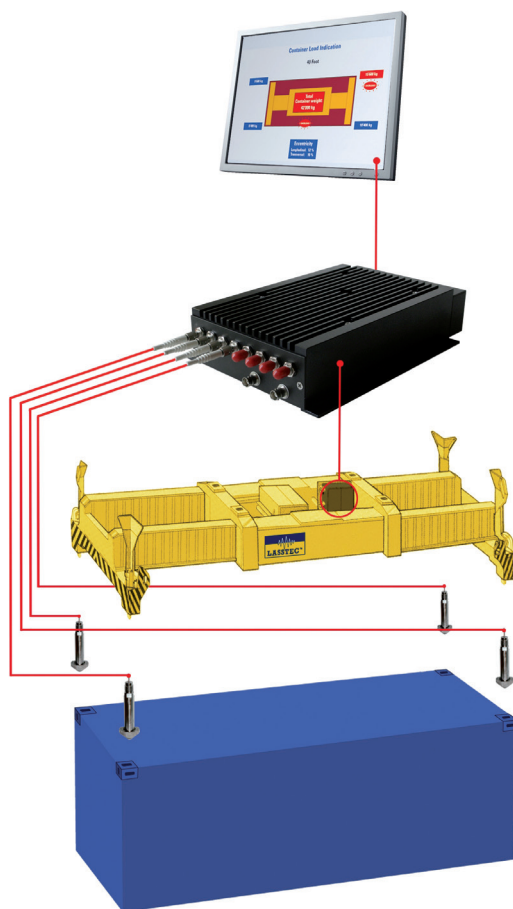
Liebherr-Werk Nenzing GmbH y PACECO Corporation también disponen de sistemas de prevención de colisión basado en escáneres láser para prevenir golpes de la pluma contra el buque o incluso en otras situaciones donde se requiere detección en dos dimensiones.

#### 7.1.2.1.3. Sistema de detección de carga en el *spreader*

La empresa Lemantec International ha creado el sistema Lasstec que consiste en un sensor ubicado en el *spreader* y conectado con el interior de los *twistlocks* que permite medir la elongación del acero determinando qué carga soporta cada uno de ellos, así como la excentricidad de la carga. El dispositivo puede instalarse en la parte superior de los *spreaders* ya en uso dentro de una caja de protección o, para *spreaders* nuevos, integrado en estos. Además el sistema va provisto de un monitor situado en el interior de la cabina de manipulación que recibe la información sobre el peso soportado por cada *twistlock*, el peso total exacto y la excentricidad de la carga (WorldCargo News, junio 2011) (Figura 77).



Figura 77. Sensor de carga Lasstec en el *spreader*



Fuente: Lemantec Sarl

Por su parte el fabricante de *spreaders* Bromma Conquip también dispone de una tecnología de sensor de carga (*load sensing technology*). Ambos sistemas permiten medir el peso del contenedor sin interferir en el ciclo de carga o descarga de manera que no afecta al rendimiento de la grúa. Estos sistemas pueden instalarse en los *twistlocks* de cualquier tipo de *spreaders*, tanto en equipos de muelle como de patio.

Mediante estos sistemas se detectan y pueden solucionarse problemas como (Lemantec, 200-?):

- La caída de contenedores porque no todos los *twistlocks* están enganchados a sus respectivas cantoneras.
- Accidentes causados por contenedores sobrecargados, con carga excéntrica o cuya carga no ha sido declarada en el manifiesto de carga.
- Elevación de *trailers* o plataformas porque el contenedor todavía está sujeto a estos en el momento del izado.
- La excentricidad producida por la manipulación de dos contenedores de 20 pies mediante *twin-lift*.
- La elevación involuntaria de varios contenedores en *Vertical Tandem* por estar todavía sujetos entre sí, generando una sobrecarga para los equipos.

Adicionalmente la protección de los equipos frente a estos problemas optimiza la vida útil de los mismos, incrementando los intervalos de sustitución de los *twistlocks* y el ciclo de vida de *spreaders* y grúas. Así, los sistemas de medición de la carga reducen los accidentes y mejoran la seguridad en las operaciones (Meurling, 2010).

#### 7.1.2.1.4. Otro tipo de sensores

Además de los sensores vistos en los tres apartados precedentes, los fabricantes de grúas y las empresas especializadas en automatización de grúas, han desarrollado otros sensores que se usan igualmente para aumentar la seguridad de la operativa, a la vez que contribuyen a la mejora de la productividad de la grúa.

La empresa Liebherr-Werk Nenzing GmbH ofrece varios de estos sensores en las grúas que fabrica: sensores de ultrasonido para prevención de colisiones entre grúa y buque, sensores de haz de radio punto-a-punto, escáneres de radar, GPS que genera “burbujas de seguridad”, sensores y limitadores para reducir la velocidad del *trolley* y *spreader* de manera automática en puntos predefinidos, anemómetros que indican al operador la velocidad del viento y que detienen la grúa en el caso de que se exceda en un determinado tiempo la velocidad del viento máxima permitida, etc.

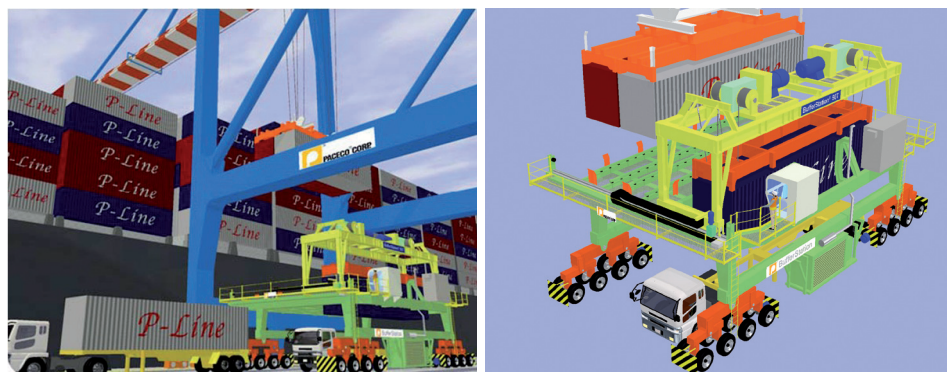
### 7.1.2.2. Sistemas de escaneado de contenedores

A raíz de los atentados del 11-S de 2001 Estados Unidos lanzó la iniciativa CSI, que en verano de 2007 aprobó una ley que obligaba a que en el año 2012 el 100% de los contenedores que entren en los puertos de dicho país deben ser escaneados aunque el gobierno de Estados Unidos ha demorado la entrada en vigor de dicho requisito hasta 2015. En julio de 2011 el Departamento de Seguridad Nacional (*US Department of Homeland Security*) a través la Oficina de Aduanas y Protección de Fronteras de EE.UU. (*US Customs and Border Protection*) informó de que en ese momento el sistema CSI estaba operativo en 58 puertos de todo el mundo, lo que suponía que más del 80% de los contenedores de importación que llegaban a EE.UU. eran escaneados (Customs and Border Protection, 2011).

La mayoría de esos puertos tienen instalados los escáneres en las puertas de acceso al puerto o en las de la propia terminal. Estos suelen ser arcos o cabinas que escanean los contenedores mientras el camión externo entra a la terminal para entregar el contenedor. Este tipo de escáneres se estudian en el Capítulo 9 del subsistema de recepción y entrega. Con estos escáneres sólo se aseguran los contenedores que se exportan desde países con el CSI implantado y por tanto han pasado por las puertas bien del puerto o bien de la terminal. Para controlar todos los contenedores que pasan por la terminal la solución es instalar escáneres en las grúas de muelle o en alguna zona del patio.

La compañía PACECO Corporation ha patentado el diseño llamado *interceptor security system* (Figura 78), que consiste en una plataforma con *trolley* que, además del objetivo de mejorar la productividad de la operativa de carga y descarga, haciendo que una grúa funcione como si tuviera doble *trolley*, sirve de equipo de inspección de los contenedores. Cuando el contenedor es depositado en la plataforma, es escaneado e inspeccionado de forma no intrusiva mediante rayos-X.

Figura 78. Sistema *Interceptor* de PACECO



Fuente: Imágenes cedidas propiedad de PACECO®

Este sistema está limitado por el tiempo que puede permanecer el contenedor sobre la plataforma que, en cualquier caso, debe ser menor al ciclo de la grúa para evitar que la acumulación de contenedores congestione el sistema y obligue a la grúa a esperar.

Como ya se comentó en el apartado 7.1.1.1.5.1 la plataforma ALP de colocación y retirada de *twistlocks* permite incorporar un sistema de detección nuclear.

Liebherr ofrece un módulo para el reconocimiento de la matrícula del contenedor (*Container Number Recognition System*) que reconoce y graba automáticamente la matrícula de cada contenedor durante su izado y transmite además la información de peso y dimensiones de este al TOS o a un sistema de registro. El sistema usa cámaras de video que graban el contenedor. Cuando este pasa por una zona determinada durante el izado, mediante unos *triggers* se inicia el mecanismo de captura de una serie de *frames* que un *software* especial de OCR analiza para identificar su matrícula.

Por su parte, Cargotec Port Security (CPS) está desarrollando un sistema de escáner láser que puede disponerse tanto sobre los *spreaders* de la grúa como en los *straddle carriers*. Bromma, especialista en el diseño de *spreaders*, está implementando esta tecnología en algunos de sus *spreaders* (Port Strategy, agosto 2010a) (Figura 79).

Figura 79. *Spreader* con escáner de radiación de Bromma



Fuente: Bromma Conquip

Según CPS el *spreader* es el lugar óptimo para colocar este escáner ya que durante los 20-30 segundos que mantiene al contenedor en el aire se puede llevar a cabo un escaneado eficaz sin disminuir el rendimiento de la grúa.

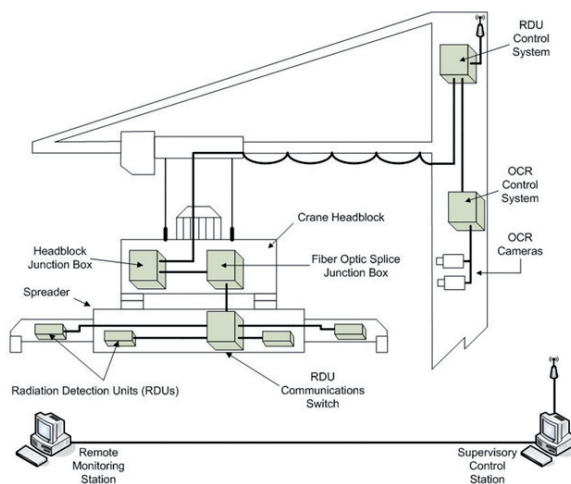
Con el escáner en el *spreader* se soluciona el problema de analizar los contenedores de trasbordo, por lo que se podría prescindir de los escáneres de patio y de puertas, evitando los problemas de salud y rechazo que pueden suponer estos, a causa del miedo de los conductores de los equipos (interno y externos) a ser radiados.

La proximidad de los sensores montados en el *spreader* a cualquier material radiológico que pudiese contener un contenedor es una de sus mayores ventajas, así como la geometría fija entre los sensores y la mercancía transportada en el contenedor. La tecnología incluye el análisis dinámico de una base de datos que tiene en cuenta las diferentes características de radiación presentes en las distintas partes del mundo. CPS ha incorporado

un sistema para una identificación rápida y precisa de los isótopos y para minimizar los falsos positivos. El sistema de sensores tiene un diseño redundante de forma que si un sensor falla los otros dos pueden escanear toda la carga de forma fiable.

La empresa VeriTainer Corporation dispone de una solución similar que denomina *crane mounted solution* (CMS). Consiste en un *spreader* (también de Bromma Conquip) que lleva instalados unos detectores de radiación y un ordenador capaz de recoger la información mandada por los detectores (Figura 80). El sistema captura y analiza las emisiones en tiempo real mientras se realiza la carga o descarga de los buques. El prototipo de esta empresa ha sido probado durante más de un año en el Puerto de Oakland (2007-2008), moviendo sin fallos mecánicos ni pérdidas de sensibilidad unos 47.000 contenedores en ese periodo (VeriTainer Corporation, 2009).

Figura 80. Esquema de funcionamiento del escáner de VeriTainer



Fuente: VeriTainer Corporation

### 7.1.2.3. *Auto-mooring*

Para terminar con las innovaciones referidas a la mejora de la seguridad y la protección se incluye el *auto-mooring*. Realmente no es una medida del subsistema de carga y descarga, sino que afecta al amarre de los buques. El *auto-mooring* o autoamarre es una automatización o semi-automatización que mejora la seguridad en las operaciones de amarre y desamarre de los buques, reduciendo o eliminando la necesidad de intervención de mano de obra durante el amarre y desamarre de los buques. Además ayuda notablemente a la automatización de la operativa de carga y descarga en muelle.

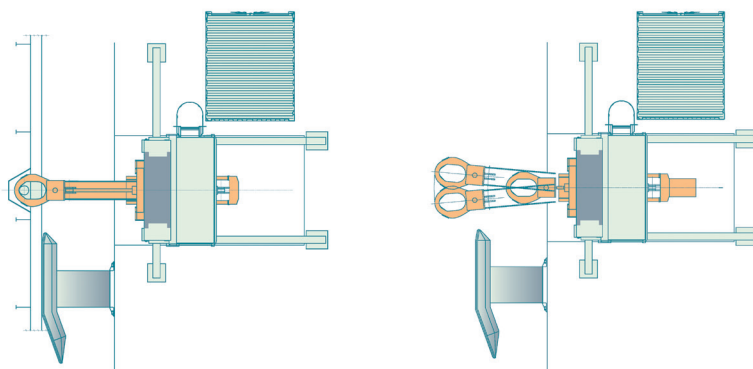
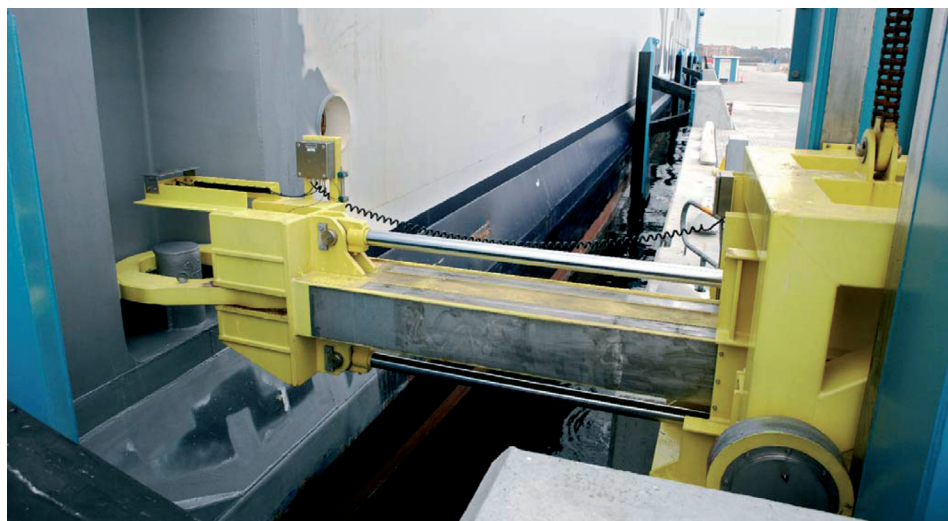
Existen dos tipos de *auto-mooring*, los que siguen utilizando maromas para amarrar los buques al muelle, que suelen ser semi-automáticos, y los automáticos, que han sustituido las maromas por otros sistemas de sujeción. Estos últimos son los que facilitan la automatización total de las grúas de muelle, ya que limitan los movimientos del buque atracado a los verticales producidos por las mareas.

La empresa TTS Port Equipment AB (en adelante TTS) contempla dos sistemas automáticos manejados por control remoto, el *grip-based auto-mooring* (auto-amarre por agarre) y el *vacuum based auto-mooring* (auto-amarre por vacío).

El primero se compone de al menos dos cajones móviles e independientes ubicados en el cantil del muelle, con un brazo o viga que sujeta un aro (a modo de hembra) en el extremo libre. Los buques tienen en el casco varios huecos con unos bulones donde se enganchan los brazos hidráulicos (Figura 81), tirando de ellos y presionando el buque contra las defensas del muelle, de manera que este queda perfectamente inmovilizado. La operación de amarre se hace de modo automático simplemente pulsando un botón cuando el buque se halla en posición, lo que activa los cajones que se mueven hasta colocarse en las posiciones preestablecidas; cada brazo se acerca hacia la posición de los huecos donde están los bulones en el casco y se enganchan. Este sistema tiene la desventaja de que es necesario hacer modificaciones en el casco de los buques (TTS Port Equipment AB, 200-?a).



Figura 81. Amarre tipo *grip-based auto-mooring* de TTS

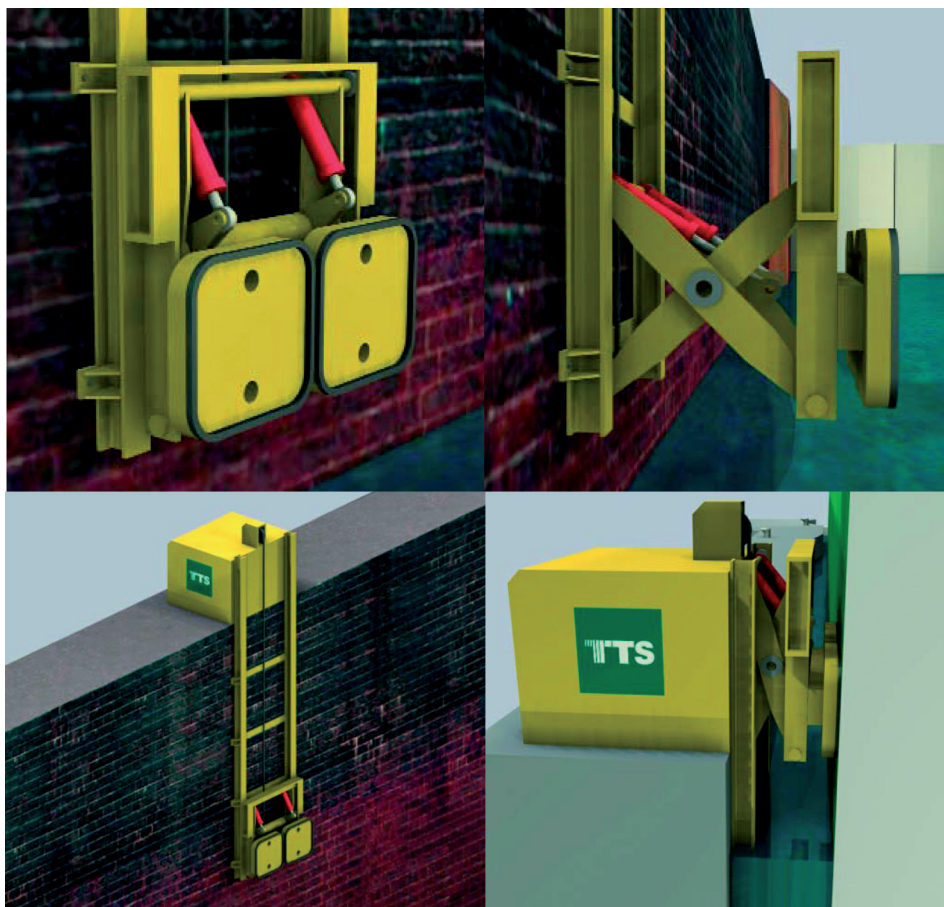


Fuente: TTS Port Equipment AB (200-7a)

El segundo sistema de amarre automático de TTS, el *vacuum based auto-mooring*, está compuesto por varios paneles de vacío, que hacen las veces de defensas, montados en unos mecanismos con guías verticales, anclados al cantil del muelle (Figura 82) y repartidos a lo largo del mismo cada cierta distancia. Este sistema, a diferencia del anterior, no precisa la modificación del casco de los buques, porque los paneles hacen vacío contra el

mismo creando la fuerza de atracción necesaria para mantenerlo inmovilizado. El sistema funciona incluso si se producen cortes en el suministro eléctrico o en la señal de control. Como en el caso anterior, el amarre se hace de modo automático. En caso necesario se le puede añadir un sistema de calentamiento para derretir el hielo que se forma en el casco en climas fríos, y mejorar la fuerza de atracción entre el panel y el casco (TTS Port Equipment AB, 200-?b).

Figura 82. Amarre tipo *vacuum based auto-mooring* de TTS



Fuente: TTS Port Equipment AB (200-?b)

La empresa Cavotec desarrolló unos autoamarres por vacío *shore-based* (Figura 82) y los probó en 2005 en la terminal de Maersk A.O. del Puerto de Salalah (Omán) con buques de contenedores. Tenían el reto de asegurar la posición de los buques al muelle durante la estación de los monzones, en la que se producen olas de gran longitud de onda que inducen movimientos importantes en los buques atracados. Tras el éxito de la prueba (los buques redujeron su movimiento de unos 3 metros a menos de 10 centímetros) se instalaron más dispositivos, con los que se han conseguido incrementos de productividad de entre el 30 y el 40% respecto al sistema tradicional de amarre (Port Strategy, mayo 2007).

Figura 83. Sistema de autoamarre por vacío de Cavotec



Fuente: Cavotec SA

Una ventaja adicional de este sistema es su rapidez: una vez (Cavotec SA, 2007) el buque está en posición delante de muelle se tarda 25 segundos en amarrarlo, y 10 en desamarrarlo, con lo que se consigue una notable reducción en la duración de estas operaciones.

Cavotec tiene varios modelos de autoamarre por vacío con capacidades que van desde las 20 a las 80 toneladas de fuerza máxima de tracción, lo que permite su uso incluso con grandes portacontenedores y en puertos muy expuestos.

### 7.1.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental

#### 7.1.3.1. *Spreader* eléctrico

El fabricante sueco Bromma Conquip ha diseñado un *spreader* (Figura 36) que funciona con energía eléctrica con varias ventajas respecto de los tradicionales *spreaders* hidráulicos. En primer lugar no tienen sistemas hidráulicos por lo que se reduce el peso total del *spreader* y el consumo energético de la grúa. Bromma estima que el ahorro en los consumos de la grúa por la reducción de 1,5 toneladas de peso del *spreader* son unos 4.000 dólares anuales, a los que hay que añadir 1.100 dólares de ahorro que se consiguen al eliminar los sistemas hidráulicos.

Por otra parte, los costes de mantenimiento se reducen notablemente al no tener que reponer fluidos de ningún tipo, filtros de aceite, etc. Según el fabricante, esta reducción puede llegar a los 2.000 dólares al año.

Una ventaja adicional es la considerable reducción de los niveles de ruido, siendo este un factor de especial importancia en puertos con una zona urbana próxima.

Así pues, se puede resumir que los *spreaders* eléctricos tienen las siguientes ventajas (Bromma Conquip):

- Son más ligeros.
- Son más eficientes.
- Son más silenciosos.
- Son más rápidos, sencillos y tienen menos costes operativos.
- Eliminan los costes de limpieza de manchas de aceite por derrames.
- Se reduce el tiempo de mantenimiento programado, por lo que aumenta el tiempo disponible del *spreader*.

- Menor coste de los materiales de mantenimiento (aceites, manguitos y filtros).
- Se reduce el tiempo de mantenimiento no programado, debido a la eliminación de muchos de los fallos no deseados que le ocurren al *spreader* hidráulico (malas conexiones en manguitos, etc.).

Figura 84. Detalle de *spreaders* eléctricos de Bromma



Fuente: Bromma Conquip



Además, Bromma Conquip ofrece para este tipo de *spreaders* eléctricos un sistema de control que denomina SCS<sup>3</sup>, que permite hacer un diagnóstico rápido y específico de los fallos, con lo que reduce y previene las paradas del *spreader* por avería, en tres sentidos: en primer lugar, el SCS<sup>3</sup> permite la evaluación continua de los sensores de los *twistlocks* y realizar ajustes *online* (el desajuste de los sensores es la principal causa del mal funcionamiento de los *twistlocks*); segundo, el SCS<sup>3</sup> reduce los puntos terminales de cable y los relés I/O, lo que reduce posibles roturas de cables; y en tercer lugar, disponer de un diagnóstico específico y completo permite a los técnicos responder de manera mucho más rápida a los fallos del *spreader* (Bromma Conquip, 2009).

Desde su comercialización estos *spreaders* tienen una gran demanda.

Una nueva marca que se está haciendo un hueco en el sector de los *spreaders* es SweFrame Port Equipment, y también tiene *spreaders* eléctricos para patio, y electro-hidráulicos para las grúas de muelle.

El fabricante Stinis Group dispone de un prolongador eléctrico para *spreaders* (*Stinis overheight spreader*) para manejar contenedores tipo *open top* cuya carga sobrepase las medidas estándares del contenedor, que ha sido muy popular entre puertos de todo el mundo, y que puede acoplarse a *spreaders* de otras marcas.

### 7.1.3.2. *Spreader* ligero

Estos *spreaders* ligeros son ideales para instalar en grúas con poca capacidad de carga. Gracias a su menor peso se consigue reducir el consumo energético de la grúa. Además son más manejables y ágiles, lo que contribuye a la reducción de la duración de los ciclos.

Bromma Conquip ha diseñado y fabricado un modelo de *spreader single* ligero e hidráulico para operativas prolongadas con grúas de última generación. Este modelo tiene una capacidad máxima de 40 toneladas, y es capaz de manejar un contenedor de 20', 30' o 40' en cada izada, además de poder elevar estructuras de trincado y las tapas de las bodegas. También puede ser equipado con el SCS<sup>3</sup> descrito anteriormente. Este modelo ligero reduce en casi 2 toneladas el peso respecto del *spreader* hidráulico.

### 7.1.3.3. Sistemas de recuperación y almacenamiento de energía en grúas de muelle

Por lo general las grúas de muelle utilizan energía eléctrica suministrada por la red del puerto o de la terminal, aunque también existen grúas de muelle que funcionan con un motor diésel que produce la electricidad a través de un generador. Junto con el suministro eléctrico para los contenedores refrigerados, las grúas de muelle son el elemento que más energía eléctrica consume en una terminal.

La tecnología de recuperación y almacenamiento de energía apareció a mediados del siglo XX. Cuando empezó a utilizarse el motor eléctrico, la energía generada se mandaba a través de grandes bancos de resistencias, donde la electricidad se disipaba en forma de calor, que podía ser utilizado para calefacción del espacio (*dynamic braking*). Este sistema era muy ineficiente y se desarrollaron nuevos métodos de almacenamiento de energía, como el *regenerative braking*, que permite un almacenamiento y reutilización de la electricidad más eficiente.

Cuando las grúas se equipan con sistemas de recuperación de energía del frenado (*regenerative braking system*), es posible recuperar parte de la energía potencial que se produce con el descenso del contenedor.

Durante el frenado, se necesita reducir la velocidad del objeto y quitarle su inercia. Mediante el uso de un alternador en el motor se puede revertir la polaridad y permitir que el motor funcione como un generador, creando electricidad (Vanheule et al., 2010).

Prácticamente todas las grúas de muelle están equipadas con sistemas de recuperación de energía del frenado, lo que les permite recuperar alrededor del 80% de la energía potencial producida durante el descenso de los contenedores. Parte de esta energía puede ser directamente utilizada por la propia grúa en el siguiente ciclo de izada o para alimentar otros sistemas. El resto de la energía, si no se dispone de un sistema de almacenamiento de la misma, se tiene que devolver a la red. El problema es que la corriente devuelta a la red no suele estar en fase y la terminal no recibe ninguna compensación económica por esa electricidad generada e incluso puede recibir sanciones por contaminar la red eléctrica.

Para evitar esto es conveniente contar con buenos sistemas de almacenamiento que permitan reutilizar al máximo la energía recuperada. Las investigaciones van encaminadas



a utilizar baterías, *flywheels* (volante de inercia, batería inercial o batería giroscópica) o súper capacitores. Estos últimos consiguen una mayor capacidad de almacenamiento, lo que otorga a la grúa mayor autonomía y fiabilidad (Vieira et al., 2011).

Las baterías electroquímicas han sido muy utilizadas por la industria de automoción como sistema de almacenamiento de electricidad, pero son muy pesadas, ocupan mucho espacio y tienen una vida limitada, por lo que resultan caras (Vargas y Ruoff, 2008). Con la aparición de los súper capacitores se ha avanzado mucho en capacidad de almacenamiento, con ventajas adicionales respecto a las baterías tradicionales como: mayor capacidad de potencia, mayor vida útil, mayor rango térmico operativo, peso menor, mayor flexibilidad y menor mantenimiento (Oh et al., 2008). Además, comparados con los *flywheels* y las baterías, los súper capacitores son capaces de manejar mucho mejor los picos de energía, lo que les hace especialmente adecuados para el uso en grúas de contenedores (Mulder, 2009).

Existen avances encaminados al uso del grafeno en una nueva generación de súper capacitores que se estima que podrían tener el doble de capacidad por peso que los súper capacitores anteriores y también en el diseño de nuevas baterías que podrían sustituir a las tradicionales baterías de litio.

### 7.1.3.4. Corrección de la energía reactiva

Un aspecto muy importante que deben controlar las terminales portuarias es la cantidad de energía reactiva generada. En un circuito eléctrico, la potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa (que se transforma en trabajo), y la potencia empleada en la formación de los campos eléctricos y magnéticos de los componentes del circuito (condensadores, bobinas, etc.), denominada potencia reactiva. La potencia reactiva no genera trabajo útil, introduciendo además fluctuaciones en los circuitos que alteran la calidad de suministro a la red.

La energía reactiva genera en las líneas de suministro un aumento de intensidad de la corriente, lo que ocasiona problemas de mantenimiento y sobrecostes en la factura eléctrica. Asimismo, puede ocasionar pérdidas de potencia en las instalaciones, caídas de tensión que provocan paradas en las operativas, etc. La compensación de la energía reactiva aumenta la capacidad de las líneas y transformadores instalados en la terminal, mejora la tensión de la red y ayuda a disminuir las pérdidas de energía.

La solución técnica consiste en la utilización de equipos diseñados para neutralizar la energía reactiva. Los más utilizados son las baterías de condensadores o capacitores y que consisten en la colocación de condensadores que aportan la energía reactiva que necesitan los equipos, consiguiendo así disminuir o compensar la energía demandada a la red de alimentación y mejorar el factor de potencia. Las baterías de condensadores facilitan la estabilización y la calidad de suministro eléctrico, optimizando el dimensionamiento, capacidad y rendimiento de la instalación.

El suministro eléctrico a las terminales portuarias es de suma importancia, y esta aumenta con las tendencias en electrificación y automatización de los equipos portuarios. Las Autoridades Portuarias, así como otros organismos públicos relacionados con los puertos, pueden estar involucrados con este suministro a diferentes niveles, desde el propio suministro a las terminales, intermediando entre las compañías productoras y las mismas, poniendo a disposición de varios usuarios subestaciones eléctricas que aglutinen los consumos de los mismos con la intención de abaratar costes y mejorar la calidad de suministro, e incluso gestionando el retorno de la energía reactiva a la red.

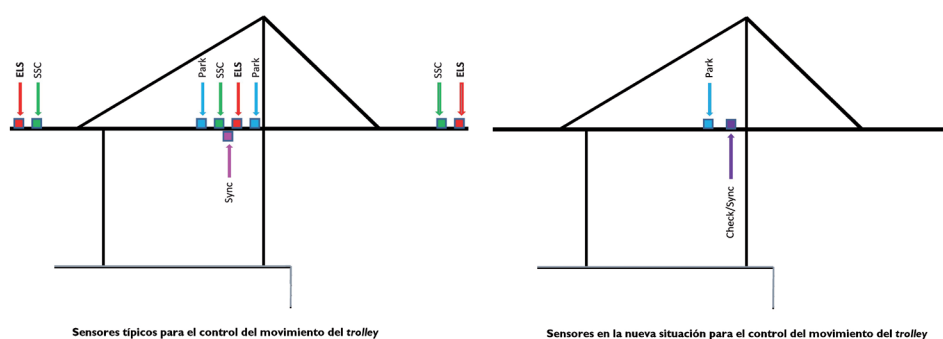
La empresa de ABB Group fabrica un corrector del factor de potencia y un filtro de armónicos instalable en cualquier grúa capaz de producir energía reactiva capacitiva o inductiva.

#### **7.1.3.5. Diseño de la instalación eléctrica**

Las mejoras e innovaciones en el diseño de la instalación eléctrica se pueden estudiar a cuatro niveles: al de cada equipo en particular (grúas de muelle, equipos de patio, equipos de interconexión, etc.); a nivel del conjunto de equipos de cada subsistema (como el de carga y descarga, almacenamiento, etc.); a nivel de la terminal completa, que engloba cualquier tipo de equipo o instalación consumidor de energía eléctrica (como equipos, reefer, iluminación de patio, oficinas, etc.); y a nivel del puerto que engloba varias terminales, sean de contenedores o no (iluminación de viales, señalización, instalaciones de suministro de energía eléctrica a buques, concesiones, etc.). En el presente apartado, por estar dentro del subsistema de carga y descarga, solo se van a analizar los dos primeros niveles, con especial atención a las innovaciones relativas a grúas de muelle tanto individualmente como en conjunto.

Dentro de la instalación eléctrica de la propia grúa la tendencia es reducir el número de sensores de esta. Para ello, Siemens propone integrar muchos de los sensores de seguridad creando multisensores (*Failsafe PLC con PROFIsafe encoder*), de manera que haya menos componentes, sean más fiables y sostenibles, y de menor coste (Figura 85).

Figura 85. Comparación entre sensores de *trolley* tradicional vs. uso de multisensores



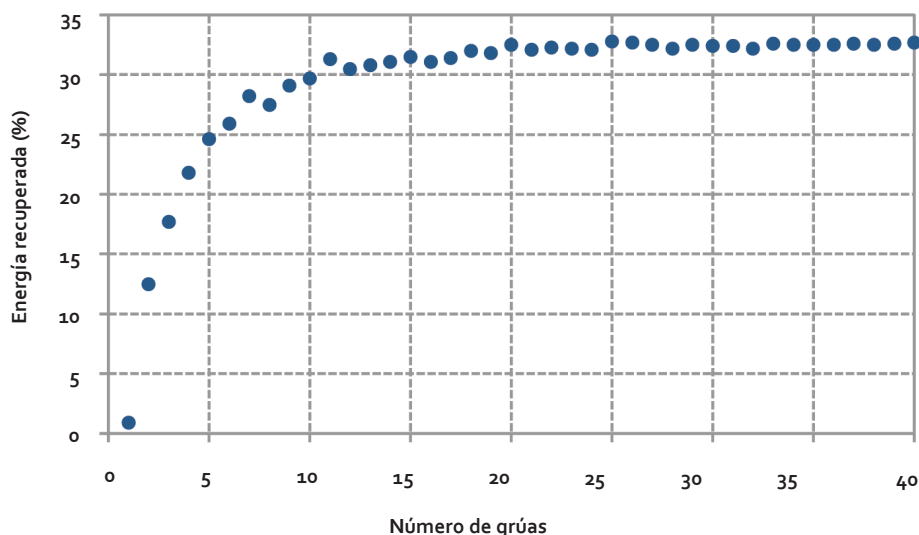
Fuente: Fischer y Peeters (2011)

Respecto al conjunto de equipos del subsistema de carga y descarga, por su elevado consumo son de especial importancia las innovaciones que tienen que ver con las grúas y con los equipos de suministro de energía a buques (*cold ironing*). Este último se analiza en el siguiente apartado.

Como ya se ha mencionado, las grúas de muelle están conectadas a la red de suministro eléctrico. Así una grúa típica de 65 toneladas de capacidad necesita un rango de suministro eléctrico de 2,5 a 3,0 MVA (las más grandes pueden llegar hasta 3,5 MVA). Además las grúas producen una gran cantidad de energía durante el descenso de la carga que, como se describe en los apartados anteriores, puede ser reutilizada por las propias grúas mediante el uso de súper capacitores en la izada de los ciclos siguientes.

Para optimizar el uso de la energía recuperada y enviarla a la red eléctrica la situación ideal es tener una red de conexión interna entre todas las grúas de la terminal que permita reutilizar esa energía recuperada en cualquiera de las otras grúas que lo precisen, y así reducir la demanda de energía a la red de suministro (Figura 86).

Figura 86. Rango de energía recuperada en función de las grúas interconectadas



Fuente: Fundación Valenciaport basada en datos de ABB Group

El aprovechamiento de la energía recuperada por la elevación de cargas de las grúas, está estrechamente relacionado con el número de grúas interconectadas (Figura 86), permitiendo un ahorro de energía eléctrica de entre un 20 a un 30% de la energía demandada a la red.

Por otra parte, el coste eléctrico asociado a las grúas, además del derivado del consumo de energía (kWh), tiene un cargo no menos importante por la disponibilidad máxima, es decir, por la potencia máxima de la instalación (kW). Para calcular la potencia máxima necesaria para las grúas de muelle habría que sumar la potencia máxima de cada una de las grúas. Como es poco probable que todas las grúas precisen simultáneamente la potencia en máxima, a ese total se le aplica una reducción.

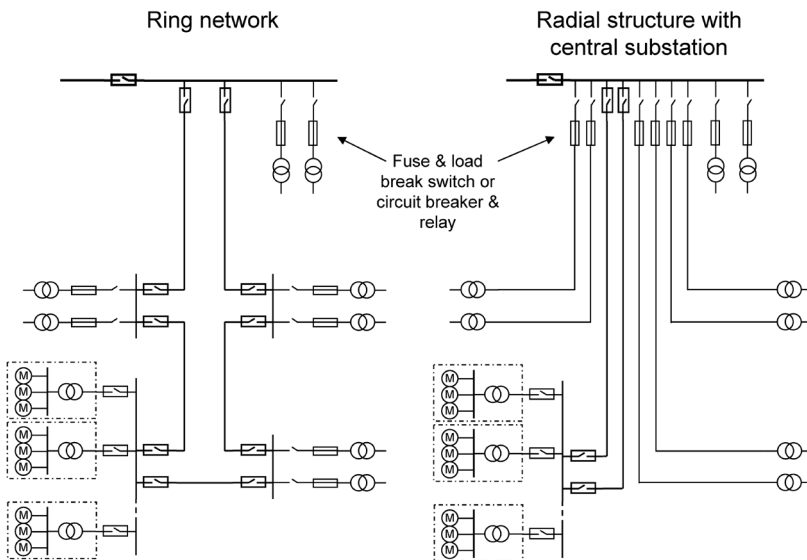
Según la empresa Siemens AG (Sensing, 2011) las principales características a tener en cuenta para la planificación óptima de una red eléctrica industrial como es la de una terminal de contenedores son:

- su elevada densidad de carga;
- más frecuencia de operaciones de conmutación;
- alto nivel de potencia de cortocircuito;
- gran cantidad de carga de motor;
- considerable cantidad de armónicos (p.e. motores de velocidad variable);
- fluctuación de la carga; y
- las características específicas de la carga.

Como los costes de los apagones son muy elevados, para el diseño de la red hay que tener en cuenta factores como la carga máxima, la caída de potencial, los costes, la fiabilidad, la redundancia, las pérdidas, las rutas disponibles, el comportamiento dinámico, y los futuros desarrollos.

Los esquemas eléctricos más apropiados para una terminal de contenedores son la red de anillo o la estructura radial con subestación central (Figura 86).

Figura 87. Esquemas de red de anillo y de estructura radial



Fuente: Siemens AG

Existen dos tipos de medidas para optimizar la eficiencia energética:

- Medidas para los “consumidores”:
  - Grúas: motores de velocidad variable (VSD) de cuatro cuadrantes con recuperación de energía y factor de potencia alrededor de 1.0; motores de elevación y frenos con inercia  $J$  minimizada;
  - Vehículos eléctricos (como los AGVs) con baterías;
  - Reefers con sistemas de refrigeración eficientes; y
  - Consumidores generales (iluminación, aire acondicionado, etc.): uso de equipos modernos de alta eficiencia.
- Medidas para la red:
  - Transformadores con pérdidas reducidas;
  - Utilización de rutas óptimas de los cables y con bajas pérdidas y baja resistencia óhmica;
  - Compensación de la energía reactiva (solo en el caso de insuficiente factor de potencia) mediante bancos de capacitores colocados cerca de las cargas reactivas;
  - Fuente de energía: utilización de plantas de cogeneración (*combined heat and power plants*) y fuentes de energía renovable (molinos de viento, células solares, etc.); y
  - Uso de la energía producida: la energía producida en cada izada de la grúa se “almacena” en la red (por ejemplo para el consumo de otras grúas). Buscar compensaciones con el suministrador de electricidad por el exceso de energía aportado a la red.

#### **7.1.3.6. Cold Ironing**

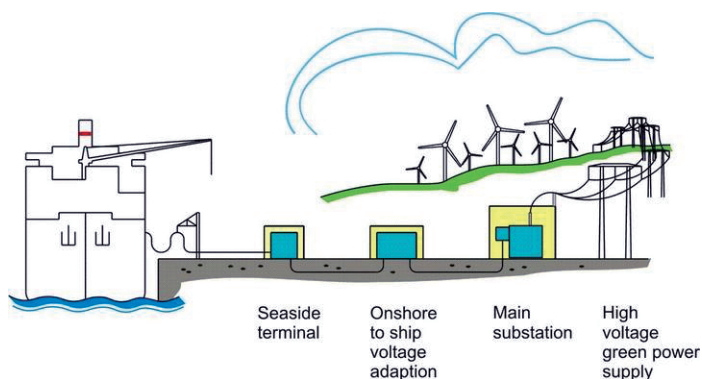
Para terminar con las innovaciones referidas a la sostenibilidad ambiental se incluye el *cold ironing*, que como ocurriría con el *auto-mooring* no es una medida del subsistema de carga y descarga, sino que afecta al atraque de los buques.

La Unión Europea publicó en 2006 una serie de recomendaciones para fomentar el uso de la electricidad en los puertos comunitarios para conectar los buques mientras estos permanecen atracados (2006/339/CE).

Estas recomendaciones pretenden ser una síntesis de un conjunto de resoluciones, conclusiones y problemas, tanto de organismos europeos como internacionales, en relación a la contaminación de la calidad del aire y acústica que se produce en los puertos comunitarios.

El *cold ironing*, también llamado *ship-to-shore power*, *onshore power supply* o *alternative maritime power* (AMP), es el sistema que permite conectar los buques a la red de suministro eléctrico mientras permanecen atracados en el muelle (Figura 88). Con esto se pretende que los buques apaguen los motores diésel que normalmente tienen encendidos para generar la energía eléctrica que necesitan los servicios auxiliares del buque (luz, climatización, comunicación, *reefers*, etc.), sustituyéndolos por la conexión directa a la red eléctrica, y así reducir las emisiones de ruido y de CO<sub>2</sub> y ahorrar energía porque la conexión directa a la red eléctrica es más eficiente que la producción de electricidad con un motor diésel.

Figura 88. Suministro de energía eléctrica a buques atracados: Sistema *Cold Ironing*



Fuente: ABB Group

Para implementar este tipo de conexiones es necesario instalar o modificar algunos equipos tanto en los muelles como en las instalaciones eléctricas del puerto (subestaciones de transformación, cableado, etc.) e incluso en los buques que deben utilizarlo.

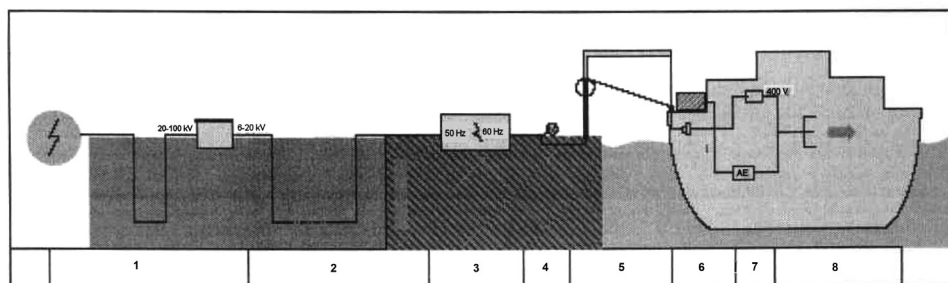
El sistema *cold ironing* es muy sencillo. El buque es conectado a través de un cable de alto voltaje al punto de conexión existente en el muelle. La energía llega al punto de conexión del muelle desde una subestación local de alto voltaje. El cable de alto voltaje permite



transferir 25 veces más energía que uno estándar de 400 V de las mismas dimensiones. Cuesta en torno a 10 minutos conectar el buque a la conexión del muelle y apagar los motores auxiliares. El buque debe tener una conexión para el cable de alto voltaje y un transformador para cambiar el voltaje suministrado a los 400 V de sus sistemas.

En la Figura 89 se puede ver el diseño básico de una instalación de suministro de energía eléctrica a buques. Pueden hacerse otras configuraciones en función del tipo de buque y muelle. La Comisión Eléctrica Internacional y la Asociación Internacional de Clasificación de Sociedades están trabajando en la definición de estándares que podrán ser los que en un futuro considere la OMI (Organización Marítima Internacional).

Figura 89. Esquema de suministro de energía eléctrica a buques desde tierra



Fuente: Comisión de las Comunidades Europeas (2006/339/CE)

Las partes que componen el diseño básico del *cold ironing* siguiendo la numeración de la Figura 88 son:

1. Conexión desde la red eléctrica nacional a 20/100 kV hasta una subestación donde se transforma la tensión a 6/20 kV.
2. Distribución eléctrica para transportar la energía a 6/20 kV desde la subestación hasta la terminal portuaria.
3. Convertidor de energía donde sea necesario. El suministro eléctrico en Europa generalmente tiene una frecuencia de 50 Hz, sin embargo los buques se diseñan con un sistema eléctrico de 60 Hz aunque algunos sistemas, como el alumbrado o la calefacción, pueden funcionar con una frecuencia de 50 Hz. Para equipos como bombas, rotores o grúas los buques usan energía eléctrica a 60 Hz y por tanto requieren un convertidor para pasar de 50 Hz a 60 Hz.

4. Cable para distribuir electricidad a la terminal. Estos cables podrían ser subterráneos colocados dentro de conductos ya existentes o de nuevos conductos.
5. Sistema de enrollado de cable, para evitar el manejo de cables de alto voltaje. Esto podría ser construido en el muelle.
6. Conexión (enchufe) en las embarcaciones para conectar el cable.
7. Transformador en las embarcaciones para transformar la energía de alto voltaje a 400 V.
8. La electricidad se distribuye por el buque, y los motores auxiliares se apagan (están parados).

El Puerto de Göteborg es el pionero en cuanto a la aplicación del sistema *cold ironing*. Además este puerto es también uno de los líderes en la utilización de energías renovables, como la energía eólica. Según estimaciones de su autoridad portuaria si todos los buques tuvieran acceso a esta tecnología, las reducciones de dióxido de carbono podrían llegar hasta el 10% de las que habría sin implementarla. En cuanto a las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno su reducción sería aún mayor, alcanzando el 95% de reducción.

Las ventajas de la utilización del *cold ironing* son:

- Reducción de las emisiones de dióxido de carbono;
- Reducción en un alto porcentaje de las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno;
- Reducción de la contaminación acústica;
- Aumento de la eficiencia energética debido al mayor rendimiento de producción de energía eléctrica respecto al rendimiento que proporcionan el uso de derivados del petróleo; y
- Reducción de costes para los buques.

Mientras que los inconvenientes son:

- Alto coste de la instalación;
- No todos los buques están preparados para su utilización;
- Requiere mucho espacio físico en el puerto; y
- Requiere un suministro eléctrico por parte de la compañía eléctrica muy elevado.

El puerto de Oakland (EE.UU.) ha diseñado una tecnología para suministrar la energía a los buques diferente del *cold ironing*, que desestimaron debido a su alto coste de implantación. Se trata de un equipo móvil de suministro de energía a partir del gas natural

líquido, LNG (*liquefied natural gas*) denominado Wittmar DFMV™ *Cold Ironing* de Wittmar Engineering and Construction (Port of Oakland, 2007).

La reducción de emisiones que se consigue con este sistema de LNG es muy similar a la que se obtendría utilizando el *cold ironing* convencional (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación entre emisiones de motores diésel auxiliares y sistema móvil de LNG para una estancia de 2 días en puerto

	Motor auxiliar diésel del buque	Sistema Wittmar DFMV <i>Cold Ironing</i> con LNG	Reducción media con LNG
Potencia (kW)	725	725	-
NOx (kg)	386	7	98%
CO (kg)	63	27	57%
PM10 (kg)	3	0	100%
SOx (kg)	63	0	100%
CO2 (kg)	38.989	22.234	57%
Combustible consumido (litros)	14.536 (de diésel)	17.988 (de LNG)	-

Fuente: Witten (2007)

Dentro de las ventajas que presenta el sistema móvil de LNG respecto de un sistema de *cold ironing* electrificado, Witten (2007) menciona:

- Los costes de instalación son alrededor de un 400% más bajos que los previstos para la electrificación de los puertos de Los Ángeles y Long Beach (según datos de POLB y POLA).
- Los costes para el usuario son fáciles de calcular (se puede pagar por estancia o por contenedor).
- Los costes de implantación se reducen muchísimo porque no necesita infraestructura.
- Permite doble frecuencia (50 y 60 Hz) y múltiples tensiones.
- Está especialmente indicado para buques con frecuencias tanto regulares como irregulares.
- Es válido para buques graneleros.

- Es flexible y móvil.
- No tiene impacto sobre la red eléctrica general.

Este sistema se utiliza en los puertos de Los Ángeles (POLA), Long Beach (POLB), y Oakland.

### 7.2. Innovaciones de gestión

Además de las innovaciones de gestión que pueden implementarse en el subsistema de carga y descarga para mejorar el rendimiento operacional, tal y como se menciona en el Capítulo 2 (apartado 2.2.1), para el caso de las compañías navieras, principales clientes de las terminales portuarias, se ha desarrollado una propuesta de niveles de servicio asociados a la calidad percibida por las navieras en términos de espera relativa y de productividad anual media de buque atracado.

#### 7.2.1. Mejora del rendimiento operacional

##### 7.2.1.1. Doble ciclo

El operador HHLA planea implementar el doble ciclo de carga y descarga simultáneas en su terminal automatizada Container Terminal Altenwerder (CTA) de Hamburgo (Beddow, 2012 y WorldCargo News, julio 2012). Esto supone que después de descargar un contenedor en el muelle, la grúa recoge otro que está esperando para ser cargado. Así se reducen los ciclos en vacío tanto del *spreader* de la grúa de muelle como de los equipos de interconexión.

Para que esta operativa sea posible hace falta un alto grado de automatización. Debe optimizarse la programación de la secuencia de carga y descarga de cada bodega para evitar remociones y minimizar los ciclos de solo carga o solo descarga. Además la asignación de los equipos de interconexión debe considerar la posición en la pila de los contenedores a cargar y el hueco para los contenedores descargados de modo que los viajes en vacío se minimicen.

Esta operativa mejora la productividad media de buque pero tiene otras ventajas como un incremento en la eficiencia energética al minimizar los recorridos en vacío, y también reduce el espacio necesario en la terminal puesto que con una planificación del patio en tiempo real pueden asignarse los huecos que van dejando libres los contenedores carga-

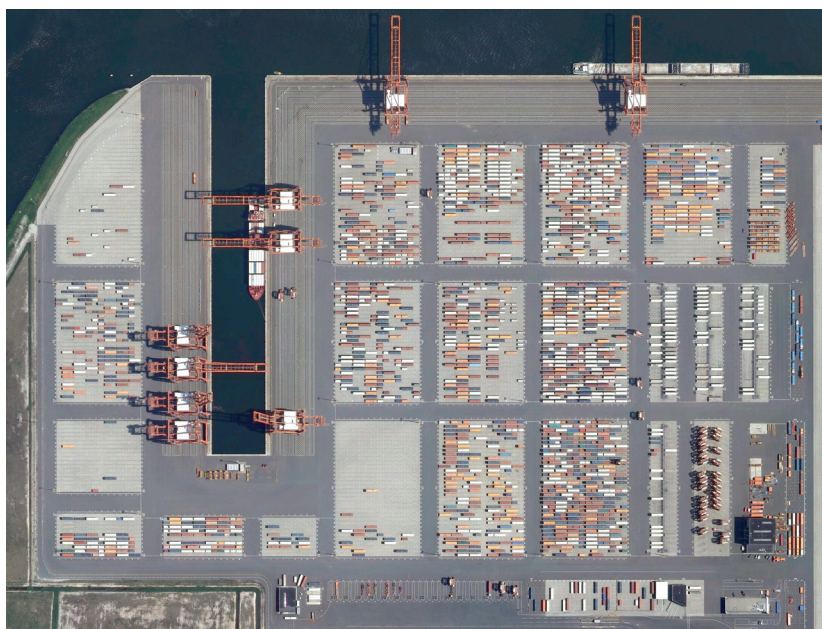
dos para ubicar los descargados. Esta última cuestión es especialmente importante para CTA que tiene una capacidad de almacenamiento limitada.

### 7.2.1.2. Atraque indentado

La idea del atraque indentado o *Intended Berth* (o *slip berth*) surge en 1996 del acuerdo entre la empresa Ceres Inc. y la Autoridad Portuaria de Ámsterdam (APA), para el diseño de una nueva terminal de contenedores en el Puerto de Ámsterdam (Bhimani y Hsieh, 2001; Ligteringen, Winkel Buitier y Vermeer, 2002).

El diseño del *layout* de la terminal fue preparado por Ceres en colaboración con JWD Group. La terminal tenía una superficie de 54 hectáreas y unas previsiones de tráfico de 950.000 TEU anuales. La terminal tiene una línea de atraque convencional de 635 metros, y 400 metros adicionales en un atraque indentado, con una distancia entre los muelles enfrentados de 58,6 m, lo que permite manipular buques de 380 metros de eslora y 56,3 metros de manga con capacidad de 9.000 TEU desde los dos costados simultáneamente (Figura 90).

Figura 90. Atraque indentado de Ceres Paragon Terminal (Puerto de Ámsterdam – Países Bajos)



Fuente: Image © 2012 Aerodata International Surveys. Google Earth

Las previsiones de productividad para ese atraque indentado con buques de 380 metros eran de más de 300 movimientos/hora. Para ello estaba previsto que operaran simultáneamente hasta 9 grúas colocándolas a uno y otro costado para poder manipular bodegas contiguas.

Como se ve en la Figura 42 en el costado derecho del muelle indentado solo hay 3 de las 5 grúas previstas y esto es porque las grúas de ese costado se pueden mover para utilizarlas en el muelle convencional (marginal), trasladándolas por unos carriles en curva que conectan ambos muelles.

La distancia entre las plumas de dos grúas enfrentadas trabajando en bodegas contiguas en el muelle indentado puede llegar a ser de 10 metros, por lo que el conjunto de grúas está provisto de un sistema anticolidión que evita las colisiones pluma a pluma y *spreader* a *spreader*. Para ello cuenta con tres niveles de protección anticolidión: un ordenador central de control; el equipo de protección en la propia grúa; y la intervención del operador de la grúa. El ordenador central de control también es capaz de evitar las colisiones entre las grúas de ambos muelles (indentado y marginal).

Uno de los principales problemas que tiene esta terminal, a pesar de poder alcanzar productividades reales de atraque de 250 mov/hora en buques de 9.000 TEU con las 9 grúas trabajando simultáneamente, es que con todas las grúas en el muelle indentado no deja ninguna libre para asignar a los buques atracados en el muelle marginal, por lo que pasa de tener tres a un atraque con la consiguiente reducción de capacidad. Otras terminales con el mismo número de grúas pero con el muelle lineal como mucho pueden llegar a asignar 5 grúas por buque, por lo que siempre tienen alguna grúa disponible para atender otros buques en el resto de atraques y por tanto tienen más capacidad (Kroon y Vis, 2005).

Otros inconvenientes del muelle indentado son la congestión que se genera en el patio debido al gran número de equipos de interconexión (*straddle carriers* en este caso) que es necesario atender en las operativas con las 9 grúas, que acaba reduciendo la productividad del atraque; problemas y más tiempo de maniobra para atracar y desatracar, lo que alarga la escala, y reduce la disponibilidad; y finalmente, como el buque se debe amarrar a uno de los dos costados del muelle indentado, las grúas del costado contrario están más lejos de la borda, por lo que sus *trolleys* recorren una distancia extra que disminuye su productividad.

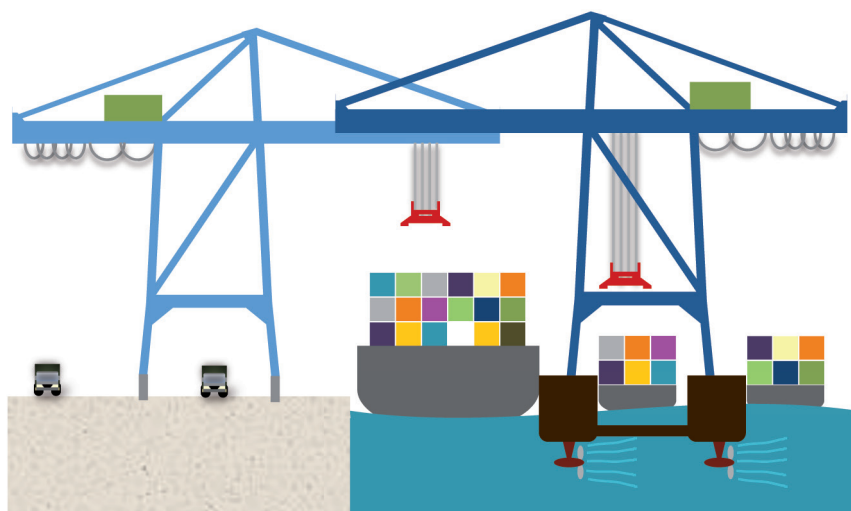
La de Ámsterdam es la única terminal en el mundo que utiliza este tipo de atraque indentado, y no ha sido un ejemplo de éxito posiblemente por la concurrencia de varias

circunstancias como son la crisis económica mundial, la fuerte competencia de grandes puertos de contenedores de la zona (Rotterdam y Amberes) y las condiciones de acceso al puerto entre otras.

### **7.2.1.3. Grúas de contenedores flotantes**

Una innovación que puede solucionar algunos de los problemas del atraque indentado, y que permite cargar o descargar el buque desde los dos costados simultáneamente con el fin de reducir la duración del atraque, es la utilización de grúas de contenedores flotantes. El concepto de grúa de contenedores flotante consiste en colocar la grúa sobre dos pontonas que llevan las instalaciones y equipos necesarios para poder desplazar la grúa por el mar o canal (generadores, tanques de combustible, tanques de lastre, sistemas activos de supresión de movimiento, defensas, etc.) y mantener la estabilidad mientras la pontona se encuentra trabajando en el lado mar del buque. Entre las dos pontonas (o en el *backreach* de la grúa) se colocan barcazas donde la grúa flotante deja y recoge los contenedores (Figura 91). De esta manera, las grúas de muelle convencionales trabajan por un lado y las flotantes por el otro, pudiendo doblar el ratio de descarga en los mayores buques portacontenedores (Pielage et al., 2008).

Figura 91. Diseño del concepto de grúa de contenedores flotante



Fuente: Fundación Valenciaport basado en el diseño de Royal Haskoning



Esta idea surgió de una síntesis entre las pontonas ro-ro, las grandes grúas flotantes para granel, el transporte de cargas pesadas sobre el agua y de las barcazas con torres de perforación de Hong-Kong (*Hong Kong Derrick Barge*). Pero la gran diferencia de estas respecto de la grúa de contenedores flotante es que esta última necesita muchísima más precisión, más velocidad de todos los desplazamientos, opera sobre buques más grandes, y la separación entre la grúa y el transporte horizontal es mucho mayor que en cualquiera de las anteriores.

Es una solución enfocada a terminales con conexiones fluviales (como Le Havre, Amberes, Ámsterdam, Constanza, etc.) que utilizan barcazas para realizar el transporte *inland*: la idea es que cuando llegue un buque portacontenedores *suezmax* a la terminal poder apoyar a la operativa de las grúas de muelle con las grúas flotantes para que descarguen sobre las barcazas que se encargarán después del transporte fluvial a modo de transbordo directo buque a buque. De esta manera se consigue minimizar el tiempo de estancia del buque en la terminal, aunque si la carga de las barcazas no está destinada a una terminal interior sino que debe almacenarse en el mismo puerto, en realidad se está dividiendo el proceso de descarga en dos porque habrá que descargar las barcazas y eso aumenta los costes y los tiempos operativos para la terminal (no para el buque).

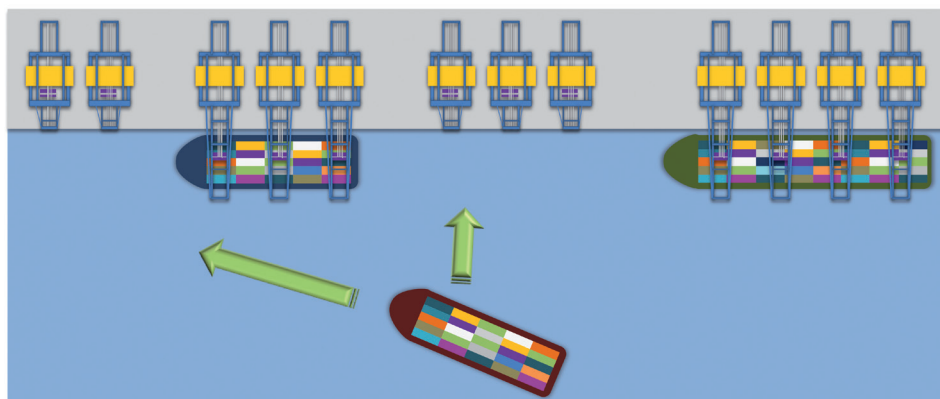
El Centro de Investigación Portuaria de Rotterdam-Delft (Pielage et al., 2008), analizó cómo conseguir la mayor viabilidad de este sistema, llegando a la conclusión de que la mejor solución, sin modificar el plan de carga del buque, es la de que las grúas flotantes descarguen todos los contenedores de trasbordo de los *bays* que tienen asignados, a una barcaza que es descargada posteriormente en la terminal por una grúa de barcazas, y el resto en una segunda barcaza encargada del transporte fluvial interior. De esta manera, para un buque tipo con una previsión de unos 3.300 movimientos, comparando su manipulación con 7 grúas de muelle contra 7 grúas de muelle más 2 grúas flotantes, estimaban que el tiempo de estancia se reduce en dos horas (pasando de 17 a 15 horas), por lo que la productividad de atraque (*P*) pasa de 193 mov/hora a 219 mov/hora (mejora en un 13,5%) y los costes de manipulación se reducen en unos 10.000 euros (en un 1,6%).

Estos resultados corresponden a unas características de operativa muy concretas. La viabilidad de este sistema se deberá estudiar profundamente en cada caso donde se pretenda implantar.

#### 7.2.1.4. Asignación de atraque

Previamente a la llegada de buque a puerto debe realizarse una reserva de espacio en la línea de atraque para su escala (Figura 92). La planificación de la asignación de la línea de atraque comienza mucho antes de la llegada de los buques a la terminal, siendo la optimización en el uso de la línea de atraque el objetivo principal que se persigue, de forma que se minimice el tiempo total de escala de los buques en puerto, definido como tiempo de servicio más tiempo de espera y tiempo de maniobra.

Figura 92. Esquema de asignación de atraque



Fuente: Vieira *et al.* (2011)

La asignación de la línea de atraque depende de muchas variables entre ellas las características físicas del muelle (muelle continuo o fraccionado, calado o longitud de la línea de atraque), las distribuciones de llegadas, de tiempos de servicio y de las esloras de los buques que serán atendidos en la terminal, el sistema de gestión de colas así como las normas y acuerdos de prioridades en el atraque, la ubicación de los distintos tipos de grúas en el muelle e incluso la ubicación de los contenedores a cargar y descargar en patio.

También pueden intervenir criterios de eficiencia energética puesto que dependiendo de la posición del atraque del buque respecto a la ubicación de las pilas en que se encuentran los contenedores que serán cargados y descargados, las distancias recorridas por los equipos de interconexión serán mayores o menores. Asignar el atraque lo más cercano posible a las pilas de los contenedores a cargar (y descargar) además de acortar recorridos y producir ahorros energéticos, redundaría en la reducción de la duración de los ciclos de los equipos de interconexión mejorando el rendimiento operacional.

Como se analiza en el Anexo, la simulación es una herramienta muy adecuada en la ayuda de decisiones sobre la asignación de atraque.

### 7.2.1.5. Optimización de la asignación de grúas de muelle

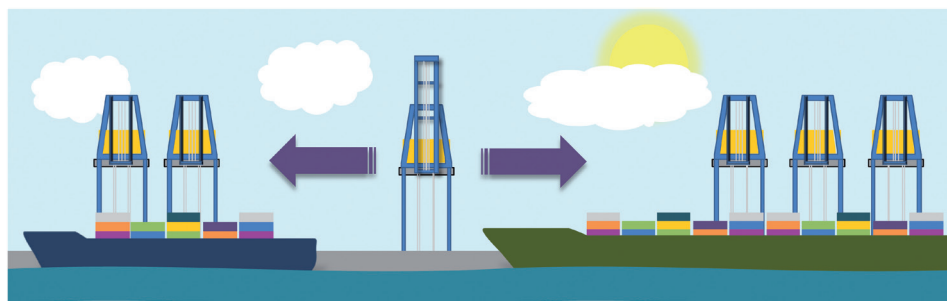
La solución del problema de asignación de grúas por buque se materializa en la distribución de los equipos disponibles de forma que las necesidades de carga y descarga de los buques queden satisfechas.

En caso de que la terminal disponga de grúas de muelle con características diferentes (fundamentalmente tamaño, pero también otras como tipos de *trolley*) hay que decidir, además del número óptimo de equipos para cada operativa, los equipos más adecuados para cada buque y todo ello conjugarlo con la escala simultánea de varios buques.

La asignación de las grúas necesarias para atender de forma óptima a un buque es una decisión táctica (ver Anexo) que se toma atendiendo diversos criterios, siendo los más relevantes:

- El volumen de contenedores que deben cargarse y descargarse por buque y su distribución a bordo;
- El número y la posición de las grúas disponibles en cada momento;
- La adecuación de las grúas al tamaño del buque; y
- Los compromisos de productividad del buque con las navieras.

Figura 93. Esquema de asignación de grúa



Fuente: Vieira *et al.* (2011)

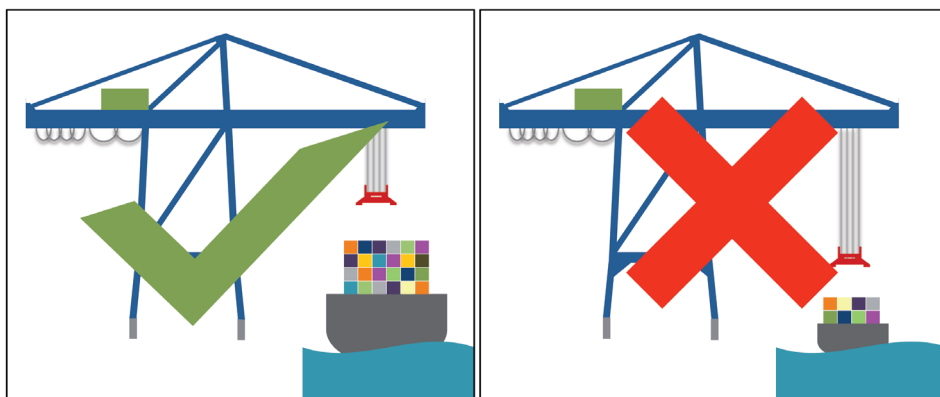
La especificación del conjunto de grúas que se asigna a cada buque (Figura 82) e incluso la determinación del número de grúas por buque tiene restricciones debido de la disponibilidad de equipos y del atraque asignado al buque. Los criterios de asignación de grúas deben asumir la disposición de las grúas a lo largo del muelle como un parámetro fijo, debido a que las grúas están montadas sobre raíles y por lo tanto pueden moverse a lo largo de la infraestructura pero sin cruzarse unas con otras.

Por otra parte, la asignación del número de grúas por buque puede ser constante en el tiempo o no, pudiendo estar operado por el mismo número de grúas desde el momento de inicio hasta el final del atraque o bien variar su número a lo largo de la escala. La asignación de grúas de muelle variable en el tiempo es una práctica común, y permite adecuar los recursos y las necesidades operativas en cada momento, logrando así mayor eficiencia en el uso de los recursos y reducir los costes de atraque del buque, que no tiene los equipos máximos asignados desde el principio al final de la escala. Otra ventaja de este sistema de asignación radica en la liberación de equipos que pueden ser reasignados a otros buques bien porque no sean necesarios o bien porque tengan que ser atendidos con mayor prioridad.

Finalmente debe señalarse que entre los criterios de asignación de las grúas, se pueden incorporar dentro de lo posible y sin comprometer la viabilidad económica de la operativa, los objetivos de eficiencia energética. En este sentido, se debería tratar de optimizar el número de equipos que sirven a cada buque al que tienen que servir. A los grandes buques

transoceánicos se les deben asignar grúas *post-panamax* o súper *post-panamax*, a los de tamaños medianos las de tipo *panamax* y a los buques pequeños las de tipo *feeder* (Figura 94). Esta medida permite la reducción de las ineficiencias que se producen al emplear grúas de gran tamaño para servir a buques más pequeños. Además de ser más compleja la operación de carga y descarga en los casos en que la grúa es demasiado grande para el tamaño del buque, hay una falta de precisión de los movimientos a una mayor distancia de la cabina y, por tanto, se necesita más tiempo para la realización de las operaciones. Como los *spreaders* y las cargas realizan mayores recorridos, la productividad por grúa disminuye. Por lo tanto, cuanto mejor se adecúe el tamaño de la grúa al tamaño del buque, más eficientemente se realizarán las operativas además de mejorar la productividad.

Figura 94. Adecuación del tamaño de la grúa al buque



Fuente: Vieira *et al.* (2011)



*Siempre debemos mantener dentro  
de nosotros la posibilidad de cambios:  
nunca debemos ser prisioneros del  
pasado.*

Nathaniel Branden, psicoterapeuta



## Subsistema de almacenamiento

El subsistema de almacenamiento de una terminal de contenedores tiene como función principal el depósito temporal de los mismos, tanto de los provenientes vía marítima (importación y exportación) como de los que llegan por tierra (exportación), mientras se materializa la correspondiente intermodalidad.

Los movimientos que tienen lugar en este subsistema durante una operativa dependen del equipo de patio empleado. En el caso general los movimientos de un contenedor de exportación en patio son: el posicionamiento a pie de pila tras haber sido recibido en el área de recepción y entrega (sea en puertas o en las vías de ferrocarril), el apilado del contenedor en patio para su almacenamiento temporal, el desapilado del contenedor y su posicionamiento a pie de pila para ser trasladado a muelle. En el caso de los contenedores de importación la secuencia es inversa. Los contenedores de transbordo también experimentan los mismos movimientos aunque siempre con origen o destino en el muelle (buque). Además existen movimientos adicionales a las operativas descritas como son las remociones, el *housekeeping* y los desplazamientos a los puntos de inspección. En función del tipo de equipo de patio, los movimientos se simplifican.

Las principales limitaciones del subsistema de almacenamiento son: la superficie disponible, la capacidad de apilado del tipo de equipo, el nivel



de desarrollo del TOS y el tiempo de estancia de los contenedores en la terminal, factor que depende fundamentalmente de condicionantes externos a la terminal. En este sentido, las innovaciones del subsistema de patio persiguen:

- Optimizar el diseño en planta de la terminal de modo que la superficie de almacenamiento respecto a la total sea la máxima posible, con una geometría que permita la disposición del mayor número de huellas posible;
- Mejorar tanto la capacidad estática de apilado de los equipos de patio, reduciendo el tamaño de viales y espacios de maniobra o con mayores alturas operativas, como la productividad de los mismos, bien incrementando las velocidades de los diferentes movimientos, o bien mediante la automatización;
- La optimización de la utilización de los recursos mejorando el TOS y los recursos TICs de la terminal: seguimiento de los contenedores, información en tiempo real de la situación del patio, optimización de la asignación de equipos, asignación óptima de órdenes de trabajo minimizando las remociones, automatización, etc.

En la actualidad se han desarrollado un gran número de alternativas para los principales equipos de patio existentes en el mercado cuyo principal objetivo es el incremento de la capacidad del subsistema de almacenamiento.

Por otro lado, la creciente preocupación por el medio ambiente sumada a volúmenes de transporte y consumos cada vez mayores hace necesaria la innovación en este aspecto, buscando la reducción de emisiones y consumos por parte de los equipos. Las novedades desarrolladas al respecto también se incluyen en el presente capítulo.

## **8.1. Innovaciones tecnológicas**

En el presente apartado se describen las innovaciones tecnológicas relacionadas con el subsistema de almacenamiento, en función del equipo de patio empleado y, como se hizo en el subsistema anterior, clasificadas en innovaciones relacionadas con la mejora del rendimiento operacional; con el incremento de la seguridad y la protección; y con la contribución a la sostenibilidad ambiental.

### 8.1.1. *Reachstackers*

Como se comentó en el Capítulo 3, el *reachstacker* (RS) es una evolución de las carretillas elevadoras. Pese a que en terminales pequeñas pueden utilizarse como equipamiento principal de patio (Figura 95), lo habitual es que se utilicen como equipo de interconexión y para otras actividades como recepción y entrega terrestre (camiones y ferrocarril), almacenamiento de vacíos, traslado de *spreaders*, etc.

Figura 95. *Reachstackers* del fabricante Hyster



Fuente: Hyster Company

Uno de los inconvenientes de cualquier carretilla, y de los *reachstackers* también por extensión, es su difícil automatización ya que el elevado número de grados de libertad de estos equipos imposibilita que puedan funcionar sin conductor. Este hecho, sumado a las

bajas densidades de patio que da como resultado la utilización del RS como equipo de apilado y a que únicamente es empleado como equipo de patio en terminales pequeñas (en cuanto al número de movimientos se refiere), ha hecho que las innovaciones en este tipo de equipos estén más enfocadas a su uso como equipo de recepción y entrega, o de actividades de apoyo que a mejorar sus aptitudes para el apilado de contenedores.

En este apartado solo se describen las innovaciones de *reachstackers* en cuanto a su uso como equipamiento de patio. El resto de innovaciones se analizan en el Capítulo 9.

#### **8.1.1.1. Mejora del rendimiento operacional**

Las mejoras en rendimiento y capacidad de este tipo de equipos están centradas en incrementar las velocidades de los movimientos que realizan los equipos, en aumentar la capacidad de carga y la accesibilidad, y en la reducción de los costes operativos. En este último aspecto, para RSs es importante la introducción de mejoras en la tracción de las ruedas.

Las mejoras de la visibilidad y de la ergonomía del conductor inciden en la mejora del rendimiento operacional, pero se trata de medidas que redundan en un incremento significativo de la seguridad y por eso se desarrollan en el apartado 8.1.1.2.1.

##### 8.1.1.1.1. Incremento de la capacidad de carga y mejora de la accesibilidad en pila

Los fabricantes de *reachstackers* están trabajando desde hace tiempo en soluciones asociadas tanto a la mejora de la accesibilidad de los contenedores en pila como al aumento de la carga de elevación. La mejora de estos dos aspectos combinados mejora el rendimiento operacional al reducir el número de remociones.

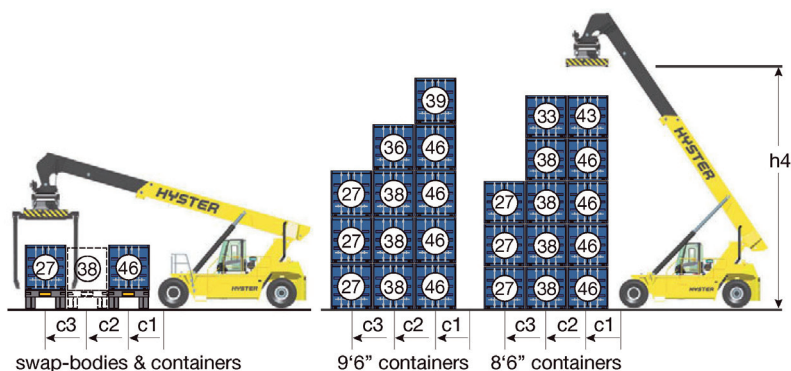
La mejora de la capacidad de almacenamiento de los *reachstackers* pasa necesariamente por la resolución del problema de su estabilidad consecuencia de la carga excéntrica de los contenedores durante la manipulación lo que desplaza el centro de gravedad del conjunto (equipo y carga) pudiendo llegar a crear momentos de vuelco que desestabilizan a la máquina.

La estabilidad de un equipo depende de dos parejas de parámetros: por una parte, el peso del RS (P) y la distancia en horizontal (d) de su centro de gravedad al eje delantero de las ruedas (punto de vuelco), y por otra el peso del contenedor o de la carga (Q) y la distancia

en horizontal (D) de esa carga al eje de las ruedas delanteras. Para garantizar la estabilidad ante el vuelco, el momento de vuelco que genera la carga ( $Q \times D$ ) debe ser menor que el momento estabilizador que genera el peso de la máquina ( $P \times d$ ) minorado por un factor de seguridad. Como el momento estabilizador es fijo para un equipo determinado, cuanto mayor sea la carga  $Q$  o la distancia  $D$ , habrá mayores problemas de estabilidad.

Algunas compañías, como Hyster, están centrando sus esfuerzos en la mejora de la estabilidad del equipo para poder hacer frente a mayores cargas y acceder a puntos cada vez más alejados del punto de vuelco del equipo. Este fabricante tiene ocho modelos de *reachstackers* disponibles con una mayor distancia entre ejes (de 6,7 m) y con estabilizadores para aumentar su estabilidad cuando están manejando cargas pesadas. En este sentido, existen nuevos equipos en el mercado que han permitido incrementar la altura de apilado de contenedores hasta 6 cajas en la primera fila y 8 si se trata de vacíos. Hyster ha desarrollado una serie de modelos que pueden acceder a la tercera fila de la pila o la segunda vía de ferrocarril, pudiendo manipular en estas posiciones cargas de hasta 30 y 27 toneladas respectivamente (Figura 96), según el tipo de *spreader* utilizado.

Figura 96. Cargas máximas admisibles en función de la posición en pila del contenedor para diferentes modelos de RSs de Hyster



Fuente: Hyster Company (2012)

Paralelamente al aumento de estabilidad, la compañía CVS Ferrari ha conseguido incrementar la carga neta que el equipo puede elevar fabricando *spreaders* más ligeros, fabricados en acero tensado logrando reducir su peso hasta en 2 toneladas. Con ello se consigue reducir la carga de la pluma y se aumenta la vida útil de los equipos.

La empresa Liebherr también ha aumentado considerablemente la accesibilidad de este tipo de equipos con el diseño del primer *reachstacker* de pluma telescópica curvada, el modelo LRS 645, cuya principal ventaja es que facilita el acceso a la segunda y la tercera fila sin necesidad de retirar los contenedores de la primera (Figura 97). Este modelo de RS está diseñado para elevar contenedores de hasta 45 toneladas a seis alturas en la primera fila, y de hasta 38 y 23,5 toneladas en la segunda y tercera fila respectivamente.

Figura 97. *Reachstacker* Liebherr de pluma telescópica curva



Fuente: Liebherr-Werk Nenzing GmbH

En pilas de 3 de alto por 3 de ancho ese alcance se aplica incluso al contenedor superior de la tercera fila (Figura 98). Gracias a esta característica el modelo LRS de Liebherr es un equipo muy adecuado para las operaciones intermodales como es el caso de la recepción y entrega de contenedores en ferrocarriles, incluso si se tiene que acceder a la segunda vía. Este RS también permite la manipulación de contenedores por debajo del plano de apoyo del equipo sin ninguna extensión especial de la pluma, y así podría usarse como equipo de carga y descarga de barcasas. Para garantizar unas condiciones de trabajo seguras el LRS 645 está equipado con una cámara ubicada en el *spreader* y otra en la parte trasera que sirven de apoyo al conductor ayudándole a controlar los ángulos muertos.

Figura 98. Alcance a tercera fila del *reachstacker* LRS de Liebherr



Fuente: Liebherr-Werk Nenzing GmbH

#### 8.1.1.1.2. Tracción independiente de las ruedas

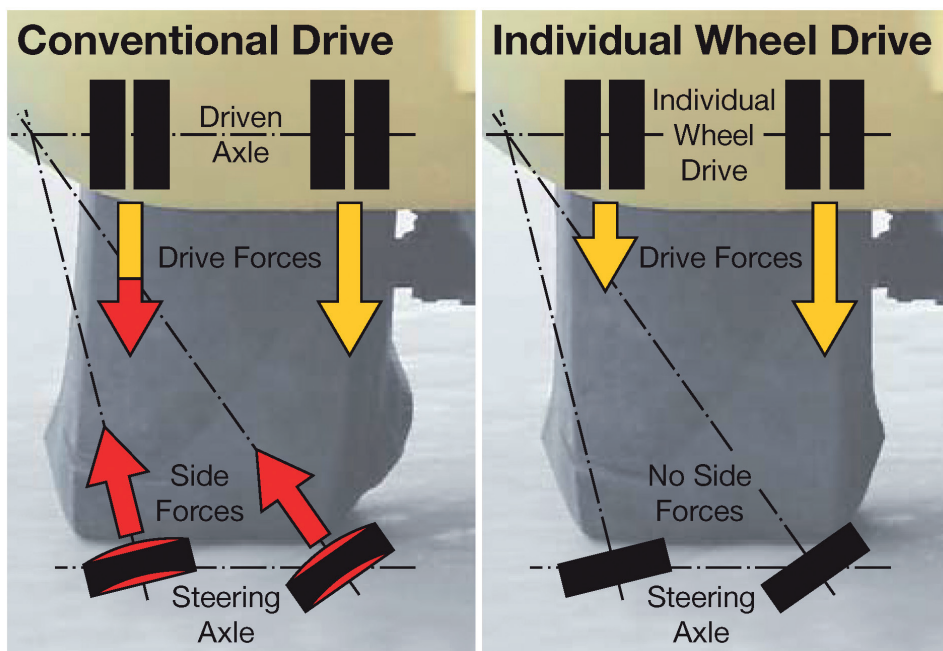
El desgaste de los neumáticos puede suponer un gran coste para una terminal que utiliza *reachstackers* como equipo de almacenamiento.

Una de las innovaciones introducidas para disminuir el desgaste producido en los neumáticos es el sistema de tracción independiente de las ruedas, que permite que cada rueda, tanto del mismo eje como de ejes diferentes, gire de modo independiente en la aceleración y en la frenada. Así se aumenta la durabilidad los neumáticos, lo que supone menores costes y tiempos de inactividad por mantenimiento, redundando todo ello en un mayor rendimiento del equipo. Además, con el aumento de la durabilidad de los neumáticos debido a la aplicación de esta innovación, disminuyen los residuos de caucho, y por tanto el impacto ambiental. Asimismo este sistema disminuye el desgaste de la dirección de los RSs. Finalmente este sistema mejora la estabilidad y la seguridad del equipo (Forklift Action, mayo 2006).

La Figura 99 muestra las fuerzas que actúan sobre los neumáticos en los casos de tracción convencional e independiente. Como puede observarse las tensiones que sufren las ruedas directrices son menores en este segundo caso. Esto minimiza el impacto de las fuerzas laterales sobre las ruedas, especialmente en el caso de radios de giro reducidos.



Figura 99. Sistema de tracción independiente de las ruedas



Fuente: Liebherr-Werk Nenzing GmbH

Liebherr y Hyster ofrecen este sistema en sus *reachstackers*.

### 8.1.1.2. Incremento de la seguridad y la protección

Todos los temas que se refieren a una mejora de la visibilidad y ergonomía del conductor del equipo redundan en un incremento significativo de la seguridad, aunque también es un factor que incide en la mejora del rendimiento operacional.

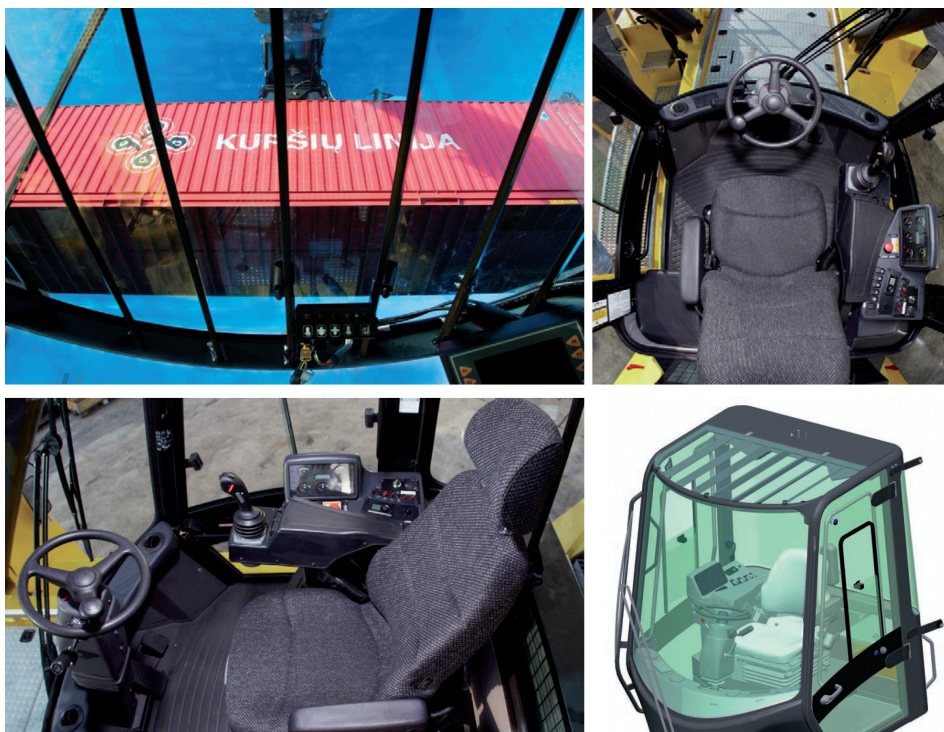
#### 8.1.1.2.1. Mejora de la visibilidad, comodidad y ergonomía del conductor

La mejora de la visibilidad es otro factor que contribuye de forma considerable al incremento del rendimiento de las operativas con RS. Varios fabricantes han trabajado mucho

en el sentido de conseguir una mejor visibilidad, comodidad y ergonomía del conductor de este tipo de equipo y todas estas mejoras redundan en una mejora significativa tanto del rendimiento como de la seguridad de la operativa. Para ello los fabricantes han focalizado sus esfuerzos en mejorar tanto la ubicación de la cabina en el equipo como el diseño de la misma como un todo, es decir, ofreciendo mejor ergonomía para el conductor, mejor visibilidad en todos los ángulos y menores niveles de ruido y vibración.

En este sentido Hyster fue el primer fabricante, en 2005 en presentar una cabina ubicada en la parte trasera del equipo con visibilidad de todos los ángulos, la llamada cabina “Vista” (Figura 100), para permitir un mejor apilamiento de los contenedores de la primera fila. Con esta ubicación de la cabina el conductor es capaz de mantener un contenedor de 40' en su ángulo de visión durante toda la operación con un mínimo movimiento de cabeza, es decir mejora la agilidad y la seguridad en la operación con un menor esfuerzo físico del conductor. Este tipo de cabinas permiten una excelente visibilidad en todos los ángulos debido a que poseen ventanales de cristal en todos los laterales de la cabina, incluso en el techo de la misma y en la parte superior e inferior de las puertas. Los cristales curvos del parabrisas frontal permiten que los pilares frontales de la cabina se queden ligeramente atrás asegurando de esta manera la máxima visibilidad en la operativa de almacenamiento. Este tipo de cabinas están dotadas de cristales especiales (tintados) para impedir los deslumbramientos; de retrovisores internos y externos; de limpiaparabrisas en los cristales delanteros, traseros y en la parte superior de la cabina; y de un sistema de climatización completo con aire acondicionado, calefacción y desempañador. Además, para una mejor comodidad y ergonomía del conductor las cabinas se montan sobre aislantes anti-vibración, poseen asientos ajustables con suspensión y apoyabrazos, respaldos altos y cinturón de seguridad, y presentan un bajo nivel de ruido interno de 70 dB (Hyster Company, 2012).

Figura 100. Cabina "Vista" del *reachstacker* de Hyster

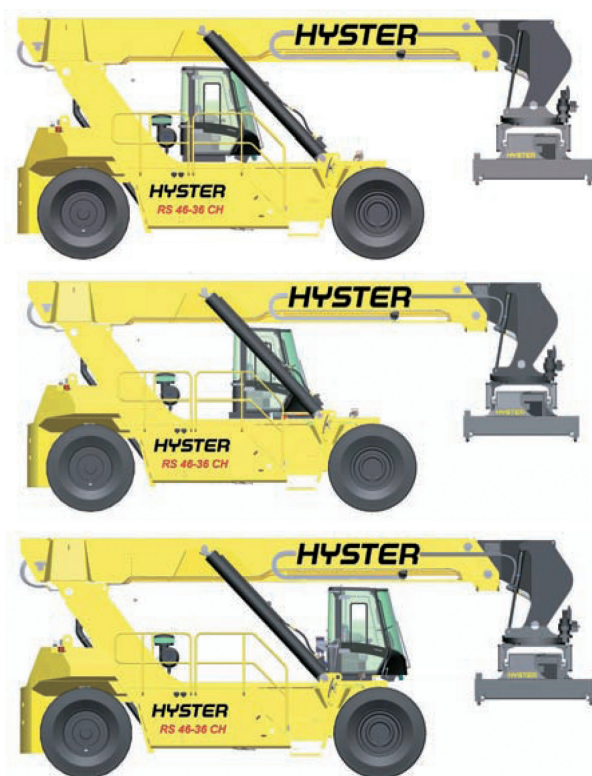


Fuente: Hyster Company (2012)

Este equipo también puede ser usado para el almacenamiento de contenedores vacíos puesto que ofrece una excelente visibilidad cuando apila contenedores vacíos hasta 8 alturas (18 metros).

Hyster ha introducido en sus últimos modelos de *reachstacker* un tipo de cabina deslizable motorizada que, con el fin de incrementar aún más la visibilidad del manipulador, puede desplazarse aproximadamente 2,6 m desde la parte de atrás de la máquina hacia delante, ubicándose en diferentes posiciones sin necesidad de trasladar el equipo (Figura 101). Esta innovación permite al conductor un mayor control de las operaciones, facilitando aumentar la altura de apilado a la vez que mejora la seguridad, lo que finalmente posibilita un incremento de la productividad.

Figura 101. Posiciones de la cabina deslizante para RS de Hyster



Fuente: Hyster Company (2012)

Del mismo modo, el fabricante CVS Ferrari ha incluido en su gama de *reachstackers* Ferrari 400 el modelo de cabina Spazio que ofrece una mejora considerable de la visibilidad al ubicarla delante de los cilindros hidráulicos con el fin de ampliar el campo de visión. Asimismo, la cabina Spazio ha sufrido mejoras en cuanto a la ergonomía y comodidad del conductor. Para ello, los pedales –acelerador, freno y embrague– se han situado en un ángulo óptimo para su accionamiento, se ha incluido como tablero de mandos una pantalla LCD interactiva con una amplia gama de instrumentos y un nuevo sistema de climatización.

Además, CVS Ferrari con el fin de adaptar las funciones de estos equipos a la operativa de carga y descarga de gabarras, dispone de un sistema que eleva la cabina más de 2 metros para dotar al conductor de la visibilidad necesaria para trabajar por debajo del plano de apoyo de las ruedas del vehículo (Figura 102).

Figura 102. *Reachstacker* CVS Ferrari 481



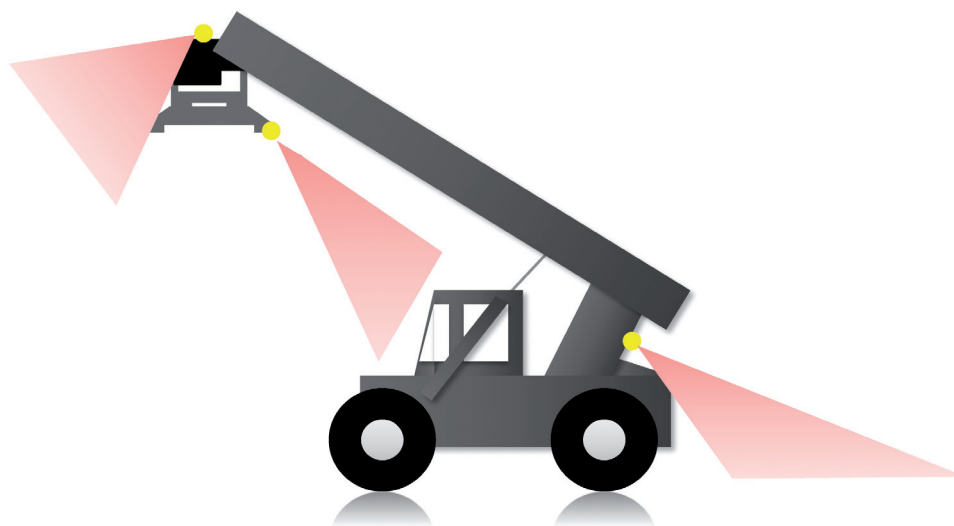
Fuente: CVS Ferrari srl

Otra alternativa para incrementar la visibilidad consiste en la utilización de cámaras y sensores ópticos que facilitan la manipulación de los contenedores, proporcionando al operario información detallada acerca de obstáculos y de su propia posición.

Así, la compañía Orlaco Products B.V., especializada en soluciones con cámaras, ha propuesto un sistema de cámaras que agiliza las operaciones de manipulación ya que permite la reducción del tiempo de enganche de los *twistlocks*. Este sistema puede estar formado por varias cámaras, una que cubre la zona de los *twistlocks*, y otras en la parte delantera o trasera de la máquina (Figura 103). El cambio de visualización en pantalla de una cámara a otra puede programarse para que sea automático dependiendo de la dirección y del movimiento que el equipo esté realizando en cada momento.

Este sistema de cámaras puede ser utilizado en otros equipos para facilitar la visibilidad de la operativa.

Figura 103. Sistema de cámaras para *reachstackers*



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de Orlaco Products B.V.

La principal ventaja del uso de cualquiera de estos equipos o sistemas que incrementan la visibilidad y la comodidad del manipulador, es que ayudan a aumentar el rendimiento operacional haciendo que las operaciones sean más seguras y eficientes.

#### 8.1.1.2.2. Escáner de radiación

Con respecto a innovaciones relativas al incremento de la protección, se pueden mencionar las tecnologías desarrolladas para el escaneado de los contenedores, que consiste en instalar sensores de detección de radiación posicionados bajo las barras de los *spreader*

*ders*, tema ya mencionado en el apartado 7.1.2.2. Esta tecnología puede implantarse en todos los equipos que utilicen *spreaders* para enganchar los contenedores.

### 8.1.1.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental

La reducción de consumos y emisiones de los *reachstackers* ha sido posible gracias a la incorporación de sistemas de transmisión hidrostáticos e hidráulicos. Actualmente algunos fabricantes, como Liebherr e Hyster, están combinando estos sistemas con tecnologías de control de las revoluciones del motor diésel, lo que disminuye todavía más el consumo del equipo.

En línea con lo anterior, la empresa Sany ha incorporado a sus RSs sistemas electrónicos sensibles a la carga que contribuyen al funcionamiento continuo y progresivo adaptando la fuerza transmitida a las necesidades puntuales de izado del equipo y permitiendo de este modo la reducción de consumo de combustible.

Normalmente la reducción de consumos va acompañada de una considerable reducción de los costes operacionales, no solo por los ahorros en combustible sino también debido a que los sistemas diseñados para ello, además de tener ventajas medioambientales, aumentan la vida útil del motor de la maquinaria.

### 8.1.2. *Straddle Carrier*

Como se comenta en el Capítulo 3 la versatilidad de los *straddle carriers* (Figura 104) permite que puedan llevar a cabo la interconexión, el apilado y la realización de operaciones de recepción y entrega en camiones.



Figura 104. *Straddle Carrier* de la empresa Kalmar



Fuente: Cargotec Corporation

Las innovaciones en *straddle carriers* están principalmente orientadas a la reducción del consumo y del ruido que producen. También se está trabajando en la mejora de su rendimiento y de sus características técnicas como potencia, velocidad, estabilidad y fiabilidad, y en sistemas para incrementar su rendimiento como el uso de *spreader twin-lift*. En cuanto a la automatización de estos equipos, los avances se centran en el desarrollo de sistemas de posicionamiento, navegación y detección de obstáculos que permitan su guiado sin necesidad de conductor.

La mayoría de las innovaciones introducidas en los *straddles carriers* corresponden a la compañía Kalmar (Cargotec Corporation), que es el principal fabricante mundial de SCs. En este epígrafe se analizan los aspectos relacionados con el almacenamiento.

Otras mejoras desarrolladas para SCs van encaminadas a convertirlo en un equipo de interconexión más eficiente (*mini straddle carriers o shuttle carrier ShC*). Estas innovaciones se recogen en el apartado 10.1.3.

### 8.1.2.1. Mejora del rendimiento operacional

La mejora del rendimiento en equipos como los *straddle carriers* viene dada por la mejora de sus características técnicas, como capacidad de carga, velocidad, estabilidad, visibilidad y ergonomía y la incorporación de sistemas de ayuda a la conducción y manipulación de contenedores.

#### 8.1.2.1.1. Incremento de la capacidad de carga (*spreader twin-lift*)

La incorporación del *spreader twin-lift* a los *straddle carriers* supone para la operativa la misma ventaja que supone la implantación de este *spreader* en las grúas de muelle: una mayor eficiencia y rapidez en la manipulación de contenedores ya que transporta y apila dos contenedores en cada ciclo. Su funcionamiento es similar al descrito en el apartado 7.1.1.2.1.1. Para un funcionamiento óptimo tanto de los SCs como de las grúas de muelle ambos deben funcionar en modo *twin-lift*; de esta manera la alimentación es continua y los ciclos no se ven interrumpidos por tiempos de espera. Actualmente, el uso de los *spreader twin-lift* en SCs está muy extendido. Se encuentran en funcionamiento en numerosas terminales. Así por ejemplo, se instalan en el 50% de las unidades fabricadas por la empresa Kalmar (Cargotec Corporation).

En este sentido la última innovación de las empresas Kalmar y Bromma Conquip ha sido el desarrollo del *spreader twin-lift* extensible, capaz de cargar contenedores de 20, 40, y 45 pies y dos de 20 pies, con una capacidad de 50 toneladas. Gracias al *spreader twin-lift* extensible es posible enganchar dos contenedores de 20' separados 1,5 metros (Figura 105), lo que permite, por ejemplo, un fácil chequeo de los precintos de las puertas de los mismos justo bajo la grúa de muelle durante la operativa de carga y descarga.

Figura 105. *Straddle carrier con spreader twin-lift extensible*



Fuente: Cargotec Corporation

#### 8.1.2.1.2. Aumento de la estabilidad y velocidad de operación

Los fabricantes están trabajando en el incremento de la estabilidad, la velocidad de traslación e izado, la capacidad, la visibilidad y la fiabilidad de los *straddle carriers*.

Para incrementar la estabilidad de estos equipos, que actualmente pueden apilar contenedores hasta 4 + 1 alturas, se ha optado por bajar su centro de gravedad situando sus componentes más pesados lo más cerca del suelo posible.

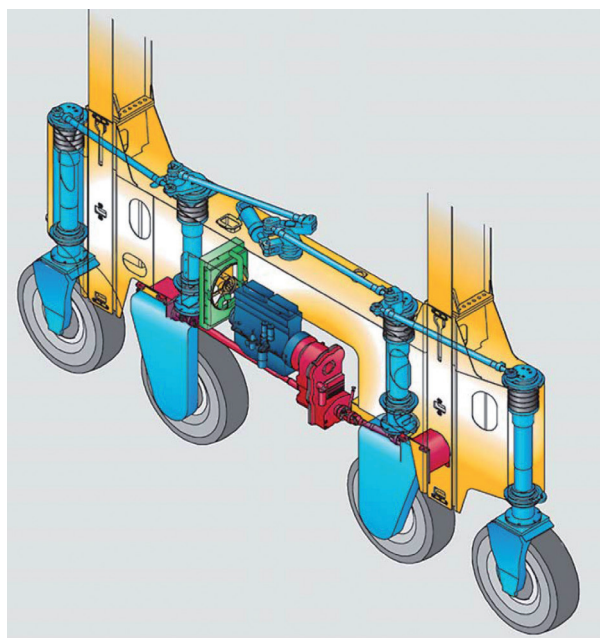
En esta línea Kalmar (Cargotec Corporation) presenta algunos sistemas, como por ejemplo *CSC Powertrain* y *ESC Powertrain* (Figura 106) y *Smoothlift™*, que mejoran la estabilidad

y la flexibilidad, simplifican el mantenimiento e incrementan el rendimiento, la productividad y la seguridad de los mismos (Kalmar, 200-?a).

El sistema *CSC Powertrain* es un sistema de tracción que se instala bajo el bastidor, facilitando el mantenimiento desde el nivel del suelo, y que tiene un sistema de transmisión de energía corto y sencillo. Se compone de un alimentador que transmite un momento torsor a una caja de cambios progresiva. Además, el sistema cuenta con alimentadores redundantes en ambos bastidores para darle al equipo mayor estabilidad y flexibilidad en la operativa.

El segundo sistema, *ESC Powertrain*, consiste en un paquete compuesto por un motor generador de corriente y un transformador de corriente alterna que se instala en la parte superior del bastidor, y dos motores eléctricos situados en la parte superior de cada bastidor de los que sale un eje que mediante una hélice conecta con el eje de cada rueda.

Figura 106. Sistema *Powertrain* de Kalmar



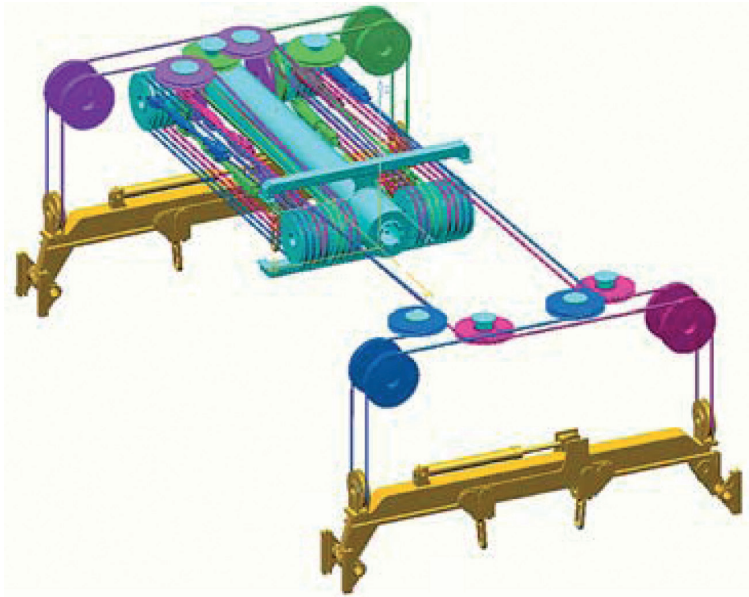
Fuente: Cargotec Corporation

La ubicación de todos estos elementos simplifica su mantenimiento y reparación debido a que están situados en lugares de fácil acceso cerca del suelo, lo que a su vez permite bajar el centro de gravedad del conjunto. La sencillez del diseño de estos dos sistemas, que reduce al mínimo su número de componentes, minimiza los costes operacionales y de mantenimiento. Por otro lado, para proteger todos estos mecanismos de posibles colisiones, se colocan dentro del bastidor que, además de cumplir funciones estructurales, actúa como armadura.

Respecto al sistema de izado, la tecnología *SmoothliftTM* (Figura 107), patentada por Kalmar, consiste en un sistema hidráulico que permite subir y bajar el contenedor mediante un único cilindro que, sin necesidad de engranajes ni frenos, acciona el izado y descenso del *spreader*, transfiriendo la fuerza a un conjunto de cables dispuestos longitudinalmente para lograr una mejor visibilidad del operario. Por otro lado *SmoothliftTM* cuenta con un sistema inteligente anti-balanceo, lo que hace más fácil el enganche y la ubicación del contenedor, mejorando así la estabilidad, seguridad y fiabilidad de las operaciones. Adicionalmente, este sistema no necesita lubricantes, por lo que no se producen derrames de aceite.

Otra alternativa, también propuesta por Kalmar, es el uso de un sistema de izado de cabrestantes accionado por dos motores y una caja de cambios que aprovecha y transfiere la energía liberada durante el descenso del contenedor y el frenado entre los sistemas de traslación e izado de carga. El tipo de cable y poleas empleados en este sistema están estandarizados y son los mismos que los utilizados en el *SmoothliftTM*.

Figura 107. Sistema de izado *Smoothlift™*



Fuente: Cargotec Corporation

Respecto al incremento de velocidades de la operativa, se ha conseguido gracias al aumento de potencia de los motores, un 20% más de velocidad de izado —hasta 30 m/min— y una mejora de la velocidad de traslación del equipo del 10% alcanzando los 30 km/h cargando contenedores llenos. Kalmar ha logrado estos resultados sustituyendo los tradicionales motores diésel por motores eléctricos de hasta 336 kW de potencia.

#### 8.1.2.1.3. Sistemas de control

Los sistemas de control instalados en los *straddle carriers*, al igual que los instalados en *reachstackers* y otros equipos, están basados en la tecnología CAN Bus (Kalmar, 200-?a).

Generalmente los sistemas de control, *PLC Control System*, para SCs permiten:

- la visualización interactiva y la fácil calibración o ajuste de parámetros;
- la distribución inteligente de energía entre las distintas funciones del equipo;

- el diagnóstico de fallos y la monitorización de la productividad;
- la descarga de información en ordenadores de sobremesa; y
- la adaptación a futuras automatizaciones.

El sistema de control de parámetros puede complementarse con sistemas de interface remota, como puede ser el caso del sistema RMI (*Remote Machine Interface*) de la empresa Kalmar (Cargotec Corporation), que permite la transmisión de la información y la toma de decisiones a distancia. Este sistema puede ser utilizado también en otros tipos de maquinarias de patio (ver apartado 5.3.3).

#### 8.1.2.1.4. Sistema automático de posicionamiento de contenedores

El sistema automático de verificación de posicionamiento de contenedores, denominado comercialmente *Smartpath®*, patentado por Kalmar (Cargotec Corporation), consiste en un módulo desarrollado para *straddle carriers* y *RTGs* (aunque también puede adaptarse a *reachstackers* y *plataformas*), y que verifica e informa sobre la localización de todos los contenedores que van a ser manipulados agilizando la operativa ya que no se emplea tiempo en buscarlos (Kalmar Intelligence and Automation, 2006a).

Su funcionamiento se basa en el sistema GPS. Cuenta con un receptor de datos instalado en los SCs, y una estación fija que envía la información a los equipos. El equipamiento de a bordo incluye un mapa vectorizado del patio de la terminal, una pantalla para la monitorización de los datos y sistemas de comunicación, y un receptor de GPS, entre otros. Por otro lado, la estación fija, compuesta por otro receptor GPS y un transmisor de radio, es la encargada de comunicar la información a todos los *straddle carriers* de la terminal.

Entre las ventajas de este sistema se encuentran las siguientes:

- optimiza los recorridos en las operativas de carga y descarga de buques;
- facilita el trabajo de los manipuladores;
- evita la “pérdida” de contenedores dentro de la terminal y reduce la necesidad de controles, lo que a su vez mejora la seguridad de la operativa al haber menos personal en el patio;
- es de fácil instalación pues al estar basado en el sistema GPS de navegación a bordo y no requerir sensores enterrados en la explanada no se necesita modificar la infraestructura;
- es mucho más eficiente en términos de costes que los sistemas convencionales;



- su coste de explotación es casi nulo; y
- su coste de mantenimiento es muy bajo ya que casi se reduce a la limpieza anual de la antena GPS.

En 2007 Maher Terminals solicitó a Kalmar que instalara este sistema en sus SCs de Port of New York-New Jersey (Port Strategy, julio 2007). Otras terminales como APM Terminals Zeebrugge tienen este sistema en funcionamiento.

### 8.1.2.1.5. Automatización de la terminal

Con la tecnología existente en la actualidad es posible la automatización completa, es decir de almacenamiento e interconexión muelle-patio, de una terminal de contenedores de *straddle carriers*. Para ello los equipos deben estar dotados de una serie de sensores y sistemas que permitan la detección de obstáculos, la navegación y la transmisión de señales, su monitorización y evaluación.

La automatización se puede plantear para terminales de SCs con volumen medio y grande de operaciones –que muevan 150.000 TEUs anuales o más–, cuando se requiere gran flexibilidad y se pretende minimizar la presencia de mano de obra.

Entre las ventajas de la automatización de los *straddle carriers* se encuentran:

- la optimización de recursos, tanto de equipos como de mano de obra;
- la flexibilidad de planificación de la operativa;
- la integración de todas las funciones en un solo equipo: almacenamiento, transporte, carga y descarga de contenedores de los camiones externos, incluso de ferrocarriles;
- flexibilidad en la disposición del *lay-out*, permitiendo cambios sin mayores trastornos para el funcionamiento de la terminal; y
- la reducción del número de accidentes.

Su mayor inconveniente es su elevado coste. Otra de las desventajas de la automatización de *straddle carriers* es su mayor complejidad comparándola con la de otra maquinaria de almacenamiento debido al gran número de grados de libertad que tienen sus movimientos.

Kalmar (Cargotec Corporation), como principal proveedor de SCs del mundo, ha desarrollado numerosas soluciones de automatización para este tipo de equipos, algunas de ellas ya mencionadas en los apartados anteriores.

La primera terminal automatizada de SCs fue la instalación portuaria de Patrick Corporation's Fisherman Island's en Brisbane –Australia– que entró en servicio en diciembre de 2005 (Kalmar Intelligence and Automation, 2006b).

### 8.1.2.2. Incremento de la seguridad y la protección

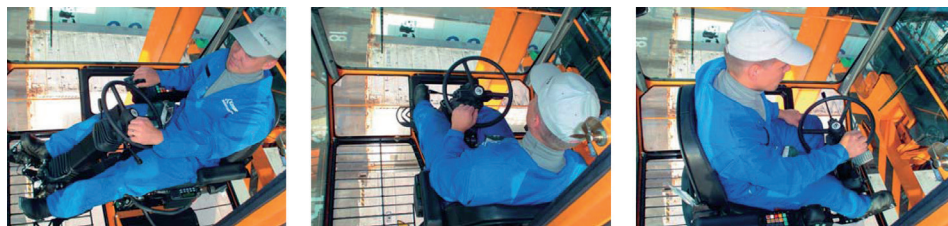
Todos los sistemas desarrollados para mejora de la estabilidad, fiabilidad y visibilidad, mencionados en el apartado anterior (8.1.2.1), son innovaciones que además del aumento del rendimiento de las operaciones también persiguen el incremento de la seguridad.

#### 8.1.2.2.1. Mejora de la visibilidad, comodidad y ergonomía del conductor

En relación con la mejora de la visibilidad, las cabinas de conducción de los *straddle carriers*, como las del resto de equipos, cada vez son más ergonómicas y ofrecen un campo de visión más amplio permitiendo al manipulador trabajar con mayor comodidad, seguridad y rapidez, incrementando el rendimiento operacional. En este sentido la cabina modelo W-type de Kalmar (Cargotec Corporation, Figura 108) es una de las más avanzadas en este aspecto y presenta las siguientes características (Kalmar, 200-?a):

- amplio espacio interior;
- cristales anti-reflectantes;
- aislamiento acústico;
- asiento desplazable 200 mm para una mejor visibilidad; y
- columna del sillón (mandos incluidos) giratoria hasta 180°.

Figura 108. Cabina de *straddle carrier* de Kalmar



Fuente: Cargotec Corporation

Así mismo el fabricante Noell tiene SCs con cabinas “V-shaped”, que disponen de asientos giratorios, dirección eléctrica y orbital, pedales ajustables y restricciones de visión reducidas al máximo. Además minimizan los niveles de ruido que experimenta el conductor (Noell Mobile Systems GmbH, 200-?).

### 8.1.2.2.2. Escáner de radiación

Como ya se ha mencionado, en todos los casos de equipos que utilizan *spreaders* se pueden instalar sensores de detección de radiación (ver apartado 7.1.2.2).

### 8.1.2.2.3. Mejoras en la estructura

Finalmente, para mejorar la fiabilidad de estos equipos se están llevando a cabo exhaustivos estudios de diseño que ponen a prueba la estructura de acero, refuerzan las uniones con las ruedas para soportar cargas de hasta 50 toneladas, y mejoran los discos de freno, cuestiones referidas a incrementos en la seguridad pero que redundan en una reducción del mantenimiento y en un aumento de la vida útil de los equipos.

## **8.1.2.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental**

### 8.1.2.3.1. Sistemas de reducción de revoluciones

Pese a que el sistema de reducción de revoluciones del motor fue inicialmente implantado en el ámbito portuario en grúas RTG, algunos fabricantes de *straddle carriers* lo han adaptado a estos equipos.

La tecnología consiste en reducir al mínimo posible las revoluciones del motor mientras el SC se encuentra en espera para realizar una operación. Con ello se consigue un importante ahorro de combustible y una reducción significativa de las emisiones.

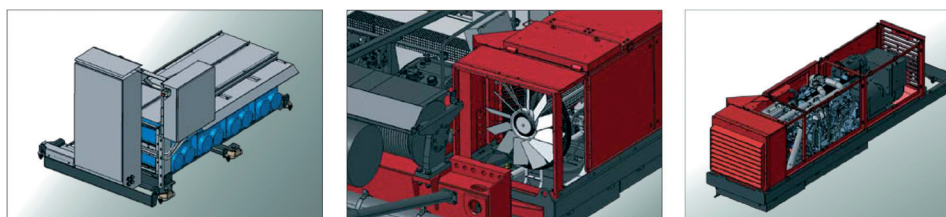
Entre los fabricantes de *straddle carriers* que cuentan con sistemas de reducción de revoluciones destacan Kalmar (Cargotec Corporation), que ha desarrollado el sistema VSG que reduce el consumo de gasoil un 25-30%, y CVS Ferrari. Esta última ha conseguido disminuir el consumo de carburante hasta los 12,8 litros/hora mediante la reducción de las revoluciones del motor de 1.200 rpm a 800 rpm durante los periodos en los que la máquina no está operando.

#### 8.1.2.3.2. Tecnología híbrida: motores diésel-eléctricos

A modo de definición, se puede decir que la tecnología híbrida consiste en emplear conjuntamente dos tecnologías pre-existentes aunque complementarias, con un único fin, y con el objeto de beneficiarse de sus ventajas respectivas y paliar las posibles desventajas de cada una de ellas por separado. El término tecnología híbrida, en este caso, es utilizado para referirse a vehículos con dos fuentes de propulsión. Los sistemas híbridos pueden incorporar varios tipos de acumuladores y conversores de energía, como pueden ser baterías, súper condensadores, etc.

Kalmar (Cargotec Corporation) fue la primera marca en desarrollar un *straddle carrier* híbrido diésel-eléctrico. Para ello, debido a la dificultad de electrificación de este tipo de maquinaria por no tener trayectorias fijas, se incorporó al equipo un sistema de tracción dotado de un súper condensador capacitivo (o ultracondensador; según la nomenclatura utilizada por los fabricantes). Este dispositivo permite cargar grandes cantidades de energía mucho más rápido de lo que lo haría cualquier batería, capturando la energía liberada durante el frenado, la deceleración y el descenso de la carga. Posteriormente, cuando la máquina demanda un pico de energía, por ejemplo para izar una carga o en una aceleración, el condensador se descarga parcialmente proporcionándosela. La empresa Kalmar ha registrado comercialmente este elemento por con el nombre de *Edrive®* (Figura 109) y se ha incorporado a las series de *straddle carriers* conocidas en el mercado como ESC y ESC W. La operación cíclica de los SCs en las terminales de contenedores, donde se producen picos de energías positivos y negativos, es la razón por la cual este tipo de tecnología híbrida da tan buenos resultados en el subsistema de almacenamiento.

Figura 109. Componentes del sistema híbrido del SC de Kalmar: condensador, sistema de ventilación y generador diésel de velocidad variable



Fuente: Cargotec Corporation

Según un estudio realizado por la empresa Kalmar, el uso de SCs de 40 toneladas dotados de este sistema ha llevado a la obtención de buenos resultados en cuanto a ahorro energético se refiere, pues existen picos de demanda y de liberación de energía que se compensan durante los ciclos de las operativas de carga y descarga y translación del equipo. En este caso, el consumo de gasoil puede llegar a ser inferior a los 20 litros/hora, frente a los 23-25 litros/hora que consume un SC convencional, lo que puede suponer unos 15.800 litros de ahorro por equipo al año.

Paralelamente, otras empresas como Noel, Konecranes, Liebherr y CVS Ferrari, están desarrollando sus propuestas de equipos híbridos empleando también súper condensadores. Esta última, CVS Ferrari, además está estudiando la posibilidad de sustituir su súper condensador por un sistema de almacenamiento de energía hidráulico/neumático. Esta solución es mucho más económica que la anterior y permitirá rebajar el consumo de combustible durante la operación hasta los 17 litros/hora.

Las principales ventajas de los motores híbridos son (Kalmar, 200-?a):

- potencial de ahorro de combustible de hasta un 25-30%;
- reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en más de 50 toneladas al año por equipo (según datos de Kalmar);
- reducción de costes de funcionamiento y aumento del ciclo de vida de los equipo;
- reducción de las emisiones de ruido; y
- no reduce el rendimiento del equipo.

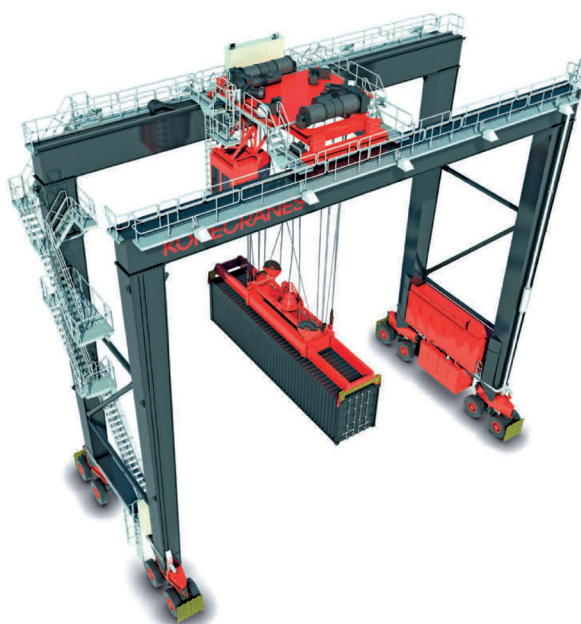
Sin embargo, una de las principales desventajas de este tipo de equipos es su elevado coste de adquisición. En cualquier caso, como ya se ha comentado, este inconveniente se está viendo atenuado por las mejoras tecnológicas de los últimos años lo que, sumado a los ahorros en combustible, está haciendo cada vez más atractiva esta opción.

De acuerdo con las previsiones de Konecranes, se espera que en los próximos años entre el 60% y 80% de la demanda de *straddle carriers* corresponda a equipos híbridos. Estos equipos se encuentran en funcionamiento en algunas terminales del operador Eurogate, como las de Bremerhaven y Hamburgo.

### 8.1.3. Rubber Tyred Gantry crane (RTG)

Los equipos *Rubber Tyred Gantry cranes* (RTGs) o grúas pórtico sobre neumáticos son los equipos más empleados a nivel mundial como equipo de almacenamiento (Figura 110).

Figura 110. Grúa tipo RTG



Fuente: Konecranes Ausió S.L.U.

Las innovaciones que se han desarrollado en los últimos tiempos para los RTGs se centran por un lado en cuestiones relacionadas con el ahorro energético y por otro en todo lo referido a la automatización parcial de los equipos, como la localización automática del contenedor o la traslación del pórtico a lo largo de una trayectoria rectilínea (Young, 2006).

#### 8.1.3.1. Mejora del rendimiento operacional

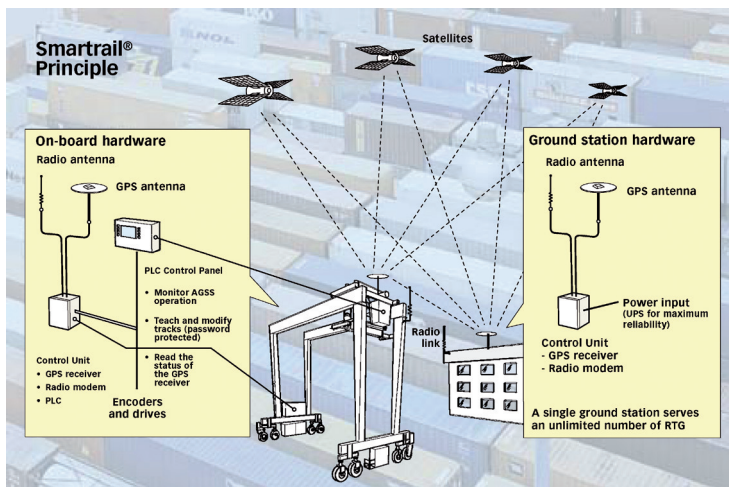
Algunos de los factores que inciden en el rendimiento operacional de los RTGs son la velocidad de traslación de los pórticos, la de traslación del *trolley* y la de elevación y

descenso del *spreader* así como la precisión de todos esos movimientos, la seguridad y el conocimiento de la posición de los equipos en cada momento.

#### 8.1.3.1.1. Sistema de posicionamiento

En cuanto a la localización de equipos, Kalmar (Cargotec Corporation) ha creado un sistema automático de dirección y verificación de posicionamiento de los contenedores, conocido comercialmente como *Smartrail®* (Figura 111). Este sistema está basado en tecnología GPS, siendo mucho más flexible que los sistemas que utilizan tecnologías convencionales. Los sistemas convencionales necesitan una línea pintada en la superficie de la terminal, un cable enterrado, o una etiqueta magnética o metálica adherida al pavimento de la terminal para guiar los equipos. Sin embargo, el *Smartrail* no requiere nada de eso, y tampoco ninguna obra de gran envergadura en la terminal, lo que facilita que este sistema pueda introducirse rápida y económicamente. Se puede modificar el *layout* o realizarse ampliaciones en la terminal sin instalaciones adicionales. Además el sistema tiene una vida útil muy larga y prácticamente sin mantenimiento. Otras ventajas son que el sistema GPS funciona bajo cualquier condición climática durante todo el año, y proporciona una posición precisa en tiempo real más del 99% del tiempo. Una vez instalado el sistema, el único mantenimiento que se requiere es limpiar las antenas de GPS en intervalos entre 6 meses y un año (Kalmar, 200-?b).

Figura 111. Sistema *Smartrail* de Kalmar



Fuente: Cargotec Corporation



El *Smartrail* recibe la posición (longitud y latitud) del receptor GPS, que se convierten en coordenadas virtuales. En el caso del posicionamiento del contenedor estas son transformadas en las coordenadas de la ubicación del contenedor (números de pila, fila, columna y altura). El sistema de dirección automática del *Smartrail* guía el RTG por carriles virtuales programados en la base de datos del programa con muy buena precisión ( $\pm 5$  cm). Estos carriles virtuales son guardados en la memoria del sistema y pueden ser modificados si es necesario. Por una parte, con este sistema los RTGs pueden realizar operaciones sin intervención del operador, como por ejemplo cambiarse de una pila de contenedores a otra, permitiendo que éste se centre visualmente en el área donde se están realizando las operaciones, en lugar de tener que concentrarse en dirigir manualmente la grúa a lo largo de su trayectoria, aunque el manipulador puede controlar la velocidad y la dirección de RTG incluso con el modo de dirección automática activo. Esto reduce la carga de trabajo del operador y ayuda a evitar colisiones, asegurando así un alto nivel de seguridad, a la vez que aumenta la disponibilidad del equipo y reduce los costes operacionales.

Cada vez que se manipula un contenedor, sea en la pila, en un camión o en una plataforma, el *Smartrail* envía un mensaje de actualización de la información para el sistema de gestión de patio. En el caso de que el contenedor sea ubicado en una posición distinta de la propuesta inicialmente por el sistema, esta información es actualizada por el sistema automático de verificación de posicionamiento de contenedores del *Smartrail*, impidiendo así que se pierda la información de la ubicación real. Esto facilita mucho la planificación del trabajo, tanto para las operaciones marítimas como en la recepción y entrega terrestres y reduce las incidencias de contenedores no localizables.

Otras empresas también poseen sistemas automáticos de dirección y posicionamiento de contenedores, como el *Yard IT* de Konecranes, que persiguen la mejora de la eficiencia y la calidad de las operaciones, asegurando que el inventario de contenedores en el patio sea fiable al 100% en todo momento y eliminando por completo el problema de los contenedores perdidos. La eficiencia de la manipulación de los contenedores se incrementa aún más con funciones del tipo *Autostop*, *Auto-Move*, *Auto-SlowDown*, *Auto-Grab*, que auxilian al conductor para la detención automática de la grúa en la posición correcta en la cual será manipulado el contenedor, en la desaceleración del equipo, etc. El sistema *Yard IT* de Konecranes ofrece un sistema preciso y fiable de dirección automática; la combinación de la tecnología de antena dual y tecnología RAAS minimiza las pérdidas y proporciona un posicionamiento muy preciso ( $\pm 2,5$  cm).

El objetivo de este tipo de herramientas es maximizar el rendimiento del sistema operativo de la terminal (TOS), monitorizando lo que realmente se lleva a cabo en el patio de la terminal en tiempo real. Estos sistemas también ayudan a aumentar la precisión y la automatización de las terminales de contenedores.

La Spezia Container Terminal (Italia), NFTI (Dunkerque, Francia) y Dublin Ferryport Terminals (Irlanda) tienen el sistema *Smartail* desde el año 2000 (World Cargo News, julio 2000).

### 8.1.3.2. Incremento de la seguridad y la protección

Entre las innovaciones que ayudan al incremento de la seguridad y la protección desarrolladas para RTGs destacan los sistemas de reconocimiento de contenedores mediante tecnología OCR (*Optical Character Recognition*) y los sistemas de monitorización anticollision.

Además, se puede mencionar el sistema de escaneo de contenedores en el patio durante la manipulación de los mismos, que funciona mediante la instalación de sensores de detección de radiación colocados en los *spreaders* (ver apartado 7.1.2.2).

#### 8.1.3.2.1. Sistema de reconocimiento de contenedores

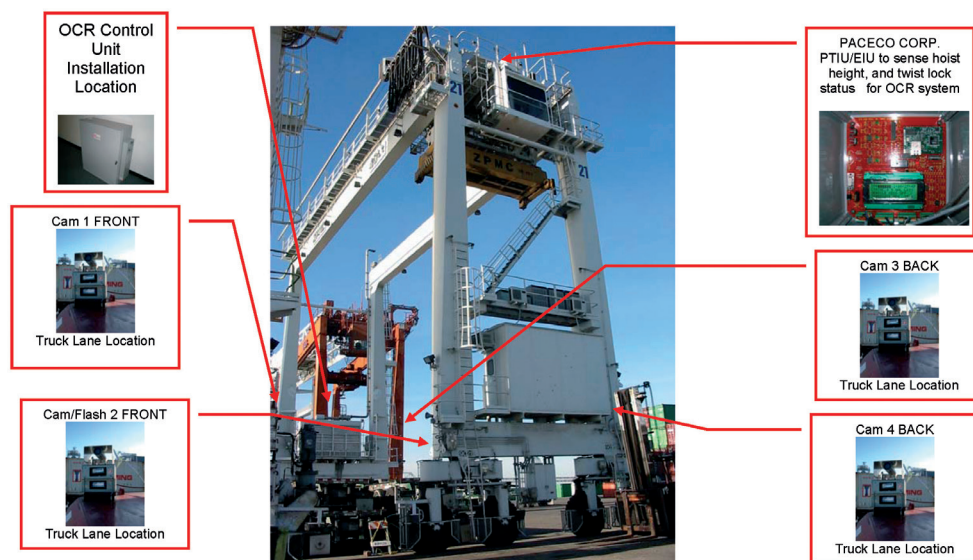
La empresa PACECO Corporation ha desarrollado el sistema *Camera Automation System – RTG* (CAS-RTG), un sistema de cámaras de lectura que se puede instalar en las grúas RTGs y que permite leer el código ISO del contenedor con ayuda del operario o automáticamente, basándose en la tecnología OCR (PACECO Corporation, 200-?b).

El sistema CAS-RTG incluye cuatro cámaras de forma que es capaz de leer tanto en el lado de la pila en que encuentra el camión como en el lado opuesto (Figura 18). De esta manera se pueden leer los números ISO tanto de la parte delantera como de la trasera del contenedor cuando el camión o plataforma se encuentran situados en la posición de entrega o recepción del contenedor y el *spreader* se cierra o abre. El sistema OCR es capaz de leer el código ISO al menos en el 90% de las ocasiones para operativas diurnas o nocturnas con la iluminación adecuada.

El sistema incluye un *software* que permite corregir de forma manual la lectura de los contenedores en el caso de que el código leído por el sistema no exista en la lista de con-

tenedores presentes en la terminal. Este *software* también permite la visión remota para diagnosticar fallos y determinar el estado del sistema instalado en un RTG determinado.

Figura 112. Sistema de reconocimiento del contenedor en RTGs



Fuente: Imágenes cedidas propiedad de PACECO® (200-?)

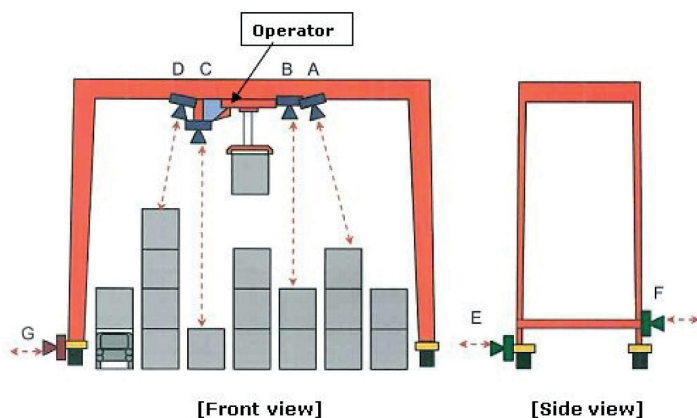
Según PACECO las ventajas del sistema CAS-RTG OCR se fundamentan en el principio de que puede trabajar tanto de forma autónoma como en red con otros equipos mediante tecnología *wireless*; permite la automatización del subsistema de almacenamiento con un coste mínimo en *hardware*; reduce la necesidad de mano de obra intensiva; y puede ser integrado en el sistema *WhereNet® Real Time Location Tracking Systems* o a su solución adaptada a puertos *WhereNet® Marine Terminal Management* (ver apartado 8.2.1.3). Además, este sistema está desarrollado para poderlo conectar al TOS de la terminal.

Uno de los puertos en el que se han instalado sistemas CAS-RTG OCR es el de Long Beach, Estados Unidos.

### 8.1.3.2.2. Sistemas de monitorización anticolidión

Con el fin de reducir la posibilidad de accidentes, la empresa Nihon Engineering Company, subsidiaria de la naviera Mitsui O.S.K. Lines (MOL), ha desarrollado un sistema de monitorización anticolidión para grúas tipo pórtico, denominado “ojo de halcón”, *Hawk Eye* en inglés (Figura 113). Se trata del primer sistema que utiliza sensores con microondas. El sistema de microondas tiene algunas ventajas frente a los radares convencionales y sensores ultrasónicos: son menos susceptibles a influencias meteorológicas (viento, lluvia, niebla, densidad del aire), la medición de las distancias es más fiable, cubre un área mayor que la del radar, puede medir distancias más largas y no es necesario hacer una solicitud de una licencia de frecuencia de radio cuando se instala el sistema (se ajusta a la banda de 24GHz específica para radios de baja potencia) (WorldCargo News, mayo 2009).

Figura 113. Sistema anticolidión ojo de halcón



Fuente: Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (2009)

La Figura 113 muestra el esquema de funcionamiento de este sistema: el conjunto de sensores que se localizan en la viga de la grúa (puntos A, B, C y D) mide la distancia entre la grúa y la parte alta de las pilas de contenedores, para evitar el contacto entre ellos y que se caigan por efecto dominó durante la carga o la descarga de las mismas. Y los sensores ubicados en las partes laterales inferiores (puntos E, F y G) miden las distancias

relativas entre la grúa y otras grúas, y entre la grúa y los vehículos, además de limitar la velocidad máxima de la grúa con el fin de evitar accidentes.

El principal objetivo de este sistema es incrementar la seguridad y la fiabilidad de las operaciones de manipulación de los contenedores y ayudar a prevenir accidentes. Este sistema se instaló por primera vez en marzo de 2009 en la terminal Tokyo International Container Terminal, en Japón (Mitsui O.S.K. Lines, 2009).

### **8.1.3.3. Contribución a la sostenibilidad ambiental**

#### **8.1.3.3.1. Sistemas de ahorro de combustible**

Actualmente se estima que más del 40% del tiempo operativo de una grúa RTG corresponde a periodos de espera o ralentí, tiempo durante el cual el motor principal de la grúa está girando a altas revoluciones. Este hecho genera un excesivo e innecesario consumo de combustible, produce elevadas emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, aumenta los niveles de ruido en la terminal y en el entorno portuario, además de aumentar los costes de explotación de la instalación. Controlando la velocidad de giro del motor mientras el equipo no está operando se puede lograr una reducción considerable en el consumo de combustible, además de una reducción significativa de las emisiones de los gases de efecto invernadero (Vieira *et al.*, 2011).

En este sentido, los sistemas de ahorro de combustible desarrollados actualmente por varios fabricantes, entre ellos Konecranes que ha sido la empresa pionera con el sistema F\$2 (Figura 114), son de simple y de fácil instalación y permiten entre otros aspectos:

- reducir la alta e innecesaria velocidad de giro del motor en tiempos de espera;
- permitir la reducción del consumo del motor cuando está al ralentí;
- producir la energía necesaria para la iluminación, ventilación, aire acondicionado, etc.; y
- estabilizar la alimentación de la grúa prolongando la vida útil de sus componentes.

Así, la finalidad de este sistema es adecuar la velocidad de rotación del motor a la potencia demandada, consiguiendo una reducción significativa del consumo de combustible sin penalizar la alimentación de otros sistemas del equipo. Además, es posible añadir un sistema de apagado automático del motor diésel, que apague el mismo después de un cierto tiempo durante el cual el equipo está completamente parado, sin realizar ningún movimiento.

Esta tecnología se caracteriza por su bajo coste de instalación y explotación y por su flexibilidad para adaptarse a diferentes configuraciones.

Según datos de Konecranes, los resultados de su aplicación suponen una reducción del consumo de combustible de aproximadamente un 30% en grúas RTG trabajando un 55% del tiempo en operación marítima y un 45% en operación terrestre. Un consumo medio para un RTG puede ser de 360 litros al día. Con el sistema de ahorro de combustible puede reducirse hasta los 260 litros/día. El ahorro conseguido puede alcanzar los 35.000 litros al año por máquina, que a un precio de combustible de aproximadamente 0,8 €/litro supone 80 euros al día y 28.000 euros al año por cada grúa pórtico.

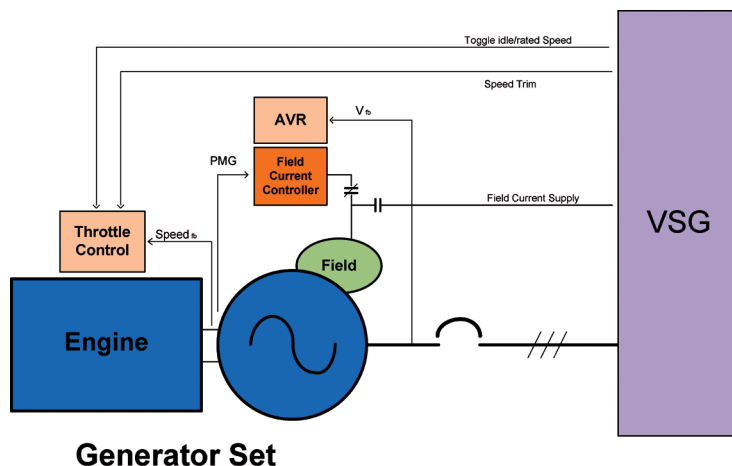
Figura 114. Sistema de ahorro de combustible F\$2 de Konecranes para RTGs



Fuente: Konecranes Ausió S.L.U

Del mismo modo, Kalmar (Cargotec Corporation) ha desarrollado el sistema *Variable Speed Generator* (Figura 115) que, al igual que el F\$2 de Konecranes, permite la adecuación de la velocidad angular del motor dependiendo del estado del equipo (operando o parado), optimizando así su funcionamiento y rebajando las revoluciones a las que gira cuando el equipo está en espera (Non-Synchronous Energy Electronics, LLC, 200-?). El sistema OMG/Emersson para RTGs es muy similar a estos dos.

**Figura 115. Diagrama de conexión del VSG de Kalmar**



Fuente: Non-Synchronous Energy Electronics, LLC (200-?)

Aunque inicialmente esta tecnología ha sido desarrollada para RTGs, Kalmar también la ha implementado en *straddle carriers*. Del mismo modo los nuevos SCs híbridos de CVS Ferrari también incorporan un reductor de revoluciones.

#### 8.1.3.3.2. Súper condensadores o súper capacitores

Al igual que en las grúas de muelle (apartado 7.1.3.3) y en los *straddle carriers* (apartado 8.1.2.3.2), en RTGs también se está empezando a implantar el uso de condensadores como elemento de ahorro y eficiencia energética. Estos dispositivos con capacidades de hasta 100.000 faradios se conectan al sistema eléctrico de la grúa. Esta tecnología cuenta con sistemas de carga y descarga rápidas que le permiten aprovechar la energía generada durante la operación de forma cíclica. Pero la misma base tecnológica requiere para su máximo aprovechamiento una elevada frecuencia de movimientos.

Los beneficios del uso de súper condensadores en los RTGs son los siguientes:

- reducción de los gases de escape del motor diésel durante el arranque del mismo;
- reducción de hasta 5 dB del nivel de ruido de la grúa en operación;
- reducción del consumo energético hasta en un 13%; y,
- prolongación de la vida útil del motor diésel y reducción de los costes de mantenimiento.



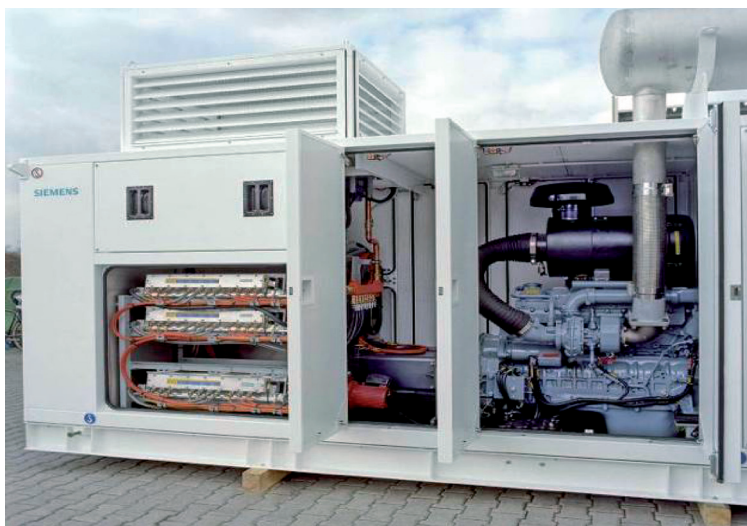
Una de las desventajas es que la incorporación de este sistema encarece el precio de la grúa en un 10%.

### 8.1.3.3. Tecnología híbrida

ECO-RTG System (Figura 116) es una tecnología híbrida que ha sido introducida en el ámbito portuario por la empresa Siemens junto con el grupo estibador APM Terminals (Siemens AG, 2008).

Este sistema permite que la energía liberada en el descenso de la carga y durante el frenado se almacene en forma de corriente continua hasta que es liberada para contribuir al izado del contenedor o a la aceleración del equipo. El propio diseño del ECO-RTG permite que la mayor parte de la energía liberada pueda ser aprovechada de nuevo. Otro de los beneficios de este sistema es la reducción del tamaño del alimentador y que ha incorporado transductores DUO y un sistema de control digital que facilita el control del consumo de energía y regula la velocidad del motor. Asimismo el mantenimiento del motor, los frenos y la transmisión del vehículo se ve considerablemente disminuido.

Figura 116. Sistema Híbrido ECO-RTG de Siemens



Fuente: Siemens AG (2008)

Con este sistema pueden alcanzarse ahorros energéticos de hasta el 50% del consumo de gasóleo de un RTG convencional, con las ventajas medioambientales que esto conlleva además de que reduce el nivel de ruido y vibraciones. La reducción del gasto en combustible hace que se recupere la inversión en el sistema ECO-RTG en un breve periodo de tiempo.

Esta tecnología ha sido probada en flotas de autobuses demostrando su eficiencia, así como en la Terminal APMT de Algeciras que instaló a modo de prueba este sistema en los RTGs de ZPMC que utiliza en su operativa (WorldCargo News, julio 2009).

Para conseguir ahorros de carburante aún mayores en 2005 se mejoró el sistema ECO-RTG con la instalación de un módulo adicional de ahorro compuesto por un ultra condensador capacitivo de energía de 2,4 kWh que permite alcanzar ahorros de hasta el 70% de la energía utilizada en una operación convencional. Desde entonces se ha mejorado esta tecnología hasta conseguir una reducción adicional del consumo del 10%, lo que supone que con su uso se consiguen ahorros energéticos de hasta el 80% respecto a los equipos convencionales.

#### 8.1.3.3.4. RTGs eléctricos

La electrificación de las grúas RTG (Figura 117) es una de las acciones más significativas que puede introducirse en una terminal de esta tipología desde el punto de vista de la contribución al desarrollo sostenible y la eficiencia energética. La alimentación eléctrica de equipos portuarios reporta beneficios económicos y medioambientales, además de contribuir a la mejora del rendimiento de la terminal (Port Strategy, abril 2011).

Figura 117. RTGs eléctricos en el Puerto de Sharjah – E.A.U.



Fuente: Liebherr-Werk Nenzing GmbH

Algunas de las principales ventajas del uso de la alimentación eléctrica frente a las energías fósiles son las siguientes:

- grandes ahorros en combustible;
- ahorros de tiempo y coste debidos a una menor frecuencia de paradas de los equipos para su mantenimiento;
- incremento de los tiempos de trabajo debidos a la eliminación, prácticamente total, de las paradas de los equipos para repostar, aumentando así su rendimiento; y,
- reducción significativa de las emisiones y del ruido con la consiguiente mejora de las condiciones ambientales de la terminal.

Para electrificar el equipamiento de patio de una terminal portuaria de contenedores existen dos alternativas. La primera de ellas consiste en la sustitución de la maquinaria existente por grúas tipo RMG (*Rail Mounted Gantry*), lo que requiere una elevada

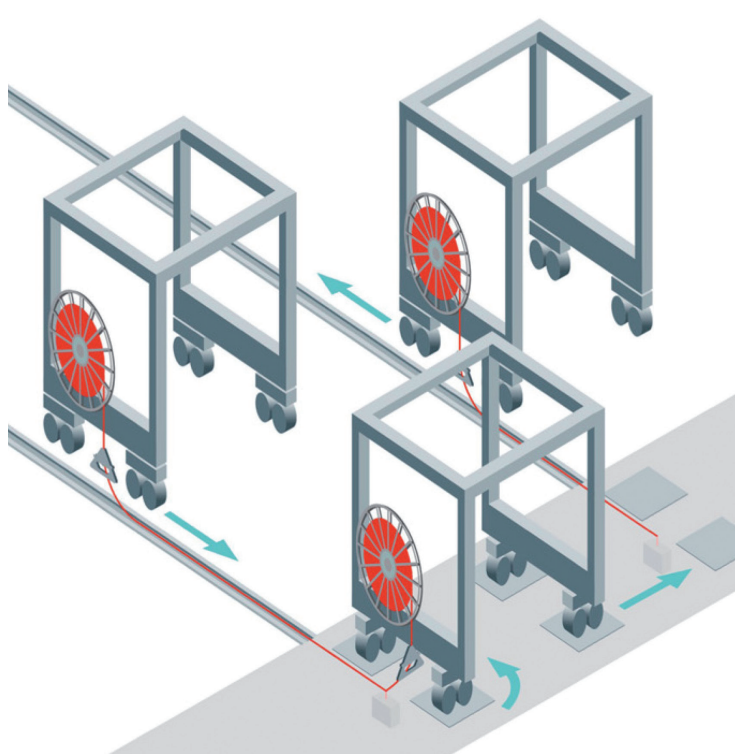
inversión no solo en términos de adquisición de nuevo equipamiento sino también de adecuación de la infraestructura del patio (construcción de galerías, instalación de raíles y adecuación de viales). Además es necesaria una profunda reorganización del patio de contenedores, tanto a nivel físico (diseño del *layout* de la terminal) como organizativo (adaptación del sistema operativo de la terminal –TOS) lo que puede ocasionar importantes interferencias en la operativa de la terminal. Por eso, los operadores deciden el modelo físico y operativo de la terminal antes de la puesta en marcha de la instalación y suelen mantener el diseño inicial a lo largo del periodo de explotación. La segunda alternativa consiste en electrificar los equipos existentes de patio, adaptando las grúas RTG mediante uno de los dos sistemas de electrificación descritos en los siguientes subapartados. En ambos sistemas la grúa RTG puede incorporar un motor diésel que le permita, en aquellas situaciones en que sea necesaria, una desconexión del sistema eléctrico, por ejemplo en las maniobras de giro de la grúa o un cambio de calle (Port Technology International, marzo 2011; Vieira et al., 2011).

#### 8.1.3.3.4.1. Electrificación mediante carrete motorizado

La electrificación mediante carrete motorizado o *cable reel* (en inglés), consiste en un cable enrollado sobre un carrete motorizado que se despliega y recoge, en función de si el equipo se acerca o aleja del punto de toma de corriente, sobre unas guías dispuestas sobre la explanada que pueden instalarse sin necesidad de modificar los viales de circulación del patio de la terminal (Figura 118). Las guías protegen al cable de los aplastamientos que podrían sufrir como consecuencia de la circulación sobre él de maquinaria pesada. Esta solución garantiza el 100% de la electrificación de los equipos mediante un sistema similar al de alimentación de las grúas pórtico de muelle.

Entre las principales ventajas que ofrece este sistema frente a otras alternativas de electrificación es su fácil y rápida instalación que no exige alteración de la infraestructura, lo que ahorra a la terminal tiempo y costes. Una de las empresas que ofrece esta alternativa es la compañía española Auxema-Stemmann mediante el sistema denominado comercialmente como *EKlgreen®drive* (EGD) (Auxema-Stemmann, 200-?).

Figura 118. Sistema de alimentación eléctrica mediante carrete motorizado

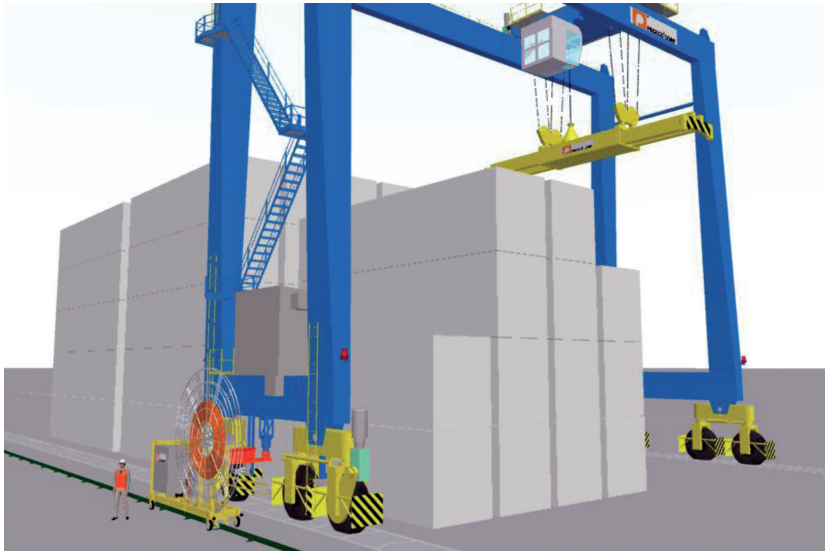


Fuente: Auxema-Stemmann Española, S.A.

Otras empresas, como PACECO Corporation, ZPMC y Stemmann Technik del grupo Fandstan Electric, también han implementado sistemas de suministro mediante carretes motorizados en sus equipos. De hecho, PACECO Corporation ofrece dos alternativas para esta solución, una con el carrete instalado en la misma máquina (*cable reel on board*), y otra con el carrete moviéndose sobre un carro que se desplaza paralelo al RTG (*cable reel on carrier*, Figura 119) (Jódar, 2012; PACECO Corporation, 2008).

Las características técnicas del sistema de esta última se recogen en la Tabla 11.

Figura 119. Sistema de electrificación de RTG con *cable reel on carrier*



Fuente: Imágenes cedidas propiedad de PACECO®

Tabla 11. Características del sistema de electrificación mediante carrete en la máquina

Longitud de cable	240 m (aprox.)
Velocidad	Máx. 100 m/min
Diámetro exterior del carrete	7.600 mm
Diámetro interior del carrete	2.500 mm
Ancho del carrete	62 mm
Diámetro del cable	56,1 – 60,1 mm
Peso del cable	6,0 kg/m
Corriente	$I_{\text{máx}} = 100 \text{ A}$
Voltaje	$V_{\text{máx}} = 3.300 \text{ V (AC)}$
Fuente de alimentación	En el punto final

Fuente: Stemmman-Technik GmbH

En cualquier caso, la evolución de las características del tráfico ha provocado el incremento de las necesidades de capacidad de carga de los equipos, lo que implica un aumento de la demanda energética, y por tanto cables cada vez de mayor diámetro, y en consecuencia más pesados y más difíciles de enrollar. Otro de los inconvenientes con los que se encuentra esta forma de suministrar corriente en terminales con pilas de gran longitud es la necesidad de cables muy largos y por tanto bobinas de mucho radio.

Para hacer frente a estas dificultades ZPMC propone duplicar el voltaje eléctrico de transmisión de la corriente, llegando a alcanzar los 10 e incluso los 20 kV, y sustituir los carretes actuales, simples, por carretes en espiral. La recogida de los hilos conductores en carretes en espiral reduce considerablemente el tamaño de los mismos y por lo tanto las exigencias estructurales del equipo. De acuerdo con Stemmann Technik, este tipo de bobinas comienzan a ser económicas cuando los carretes simples alcanzan los 8 metros de diámetro, lo que corresponde a un recorrido de 600-650 metros. Las grúas portuarias australianas llevan utilizando este sistema desde hace mucho tiempo, considerado ahora como una innovación, debido a la herencia de la industria minera del país que utiliza maquinaria electrificada con carretes en espiral. El principal inconveniente de este tipo de carretes es que el cable está menos refrigerado que en los carretes simples por lo que los hilos conductores empleados en este caso deben cumplir mayores exigencias técnicas.

### 8.1.3.3.4.2. Electrificación mediante líneas sobre carril elevado

La segunda alternativa es la electrificación mediante líneas sobre carril elevado o *conductor bar*, que suministran energía eléctrica a los RTGs mediante líneas conductoras albergadas en carriles situados en una estructura metálica a 2 metros de altura a lo largo de las pilas de contenedores (Figura 120). El RTG, dotado de una especie de pantógrafo, se encuentra conectado en todo momento a la red eléctrica suministradora, siempre y cuando éste no abandone la pila en la que está trabajando. En tal caso, el equipo deberá ser alimentado por el motor diésel auxiliar.



Figura 120. Sistema de electrificación mediante líneas conductoras



Fuente: Stemmman-Technik GmbH

En la Tabla 12 se muestran las características del sistema de electrificación sobre carril elevado.

Tabla 12. Características del sistema de electrificación mediante líneas sobre carril elevado


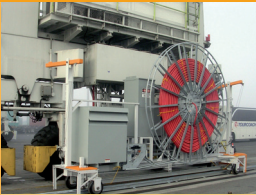

Longitud de línea	240 m (aprox.)
Velocidad	Máx. 134 m/min
Diseño de la línea	Carril de aluminio Superficie deslizante de acero inoxidable
Corriente	$I_{\text{máx}} = 1.000 \text{ A}$
Voltaje	$V_{\text{máx}} = 462 \text{ V (AC)}$
Características especiales	Protegido frente a contactos mediante material aislante

Fuente: Stemmman-Technik GmbH

Actualmente algunas terminales han optado por el uso de este sistema en lugar de enrollar las líneas conductoras sobre carretes. Es el caso de Hong Kong International Terminals (HIT), que en 2007 acometió varios proyectos para mejorar la sostenibilidad de sus equipos de patio siendo uno de ellos la electrificación de parte de su flota de RTGs. La terminal decidió no electrificar todos los equipos para conservar cierto grado de flexibilidad en sus operaciones; sin embargo, estas máquinas serán reemplazadas por RTGs híbridos.

La Tabla 13 resume las características de los tres sistemas de electrificación de RTGs analizados.

Tabla 13. Comparación de los tres sistemas de electrificación de RTGs

Tipo	<i>Cable Reel on Board</i>	<i>Cable Reel on Carrier</i>	<i>Bus-bar</i>
			
Voltaje de conexión	M.V. (3.300 o 6.600V)	L.V. (460V)	L.V. (460V)
Trabajos de conexión	Trabajador cualificado	Fácil	Fácil
Estructura en el suelo	Ninguna / Muy pequeña	Pequeña / Ninguna	Grande
Espacio requerido	0,3 m	2,5 m (for side carrier) 0 m (for in-line carrier)	0,8 m
Inversión necesaria (incluida la obra civil)	Baja	Media	Alta

Fuente: Jódar (2012)

#### 8.1.4. Rail Mounted Gantry crane (RMG)

El *Rail Mounted Gantry crane* es una grúa pórtico que se deslaza sobre raíles lo que confiere una alta rigidez a su diseño una vez implantado (Figura 121).

La innovación en este tipo de equipos está dirigida a su automatización completa. El hecho de que los RMGs se trasladen sobre carriles facilita enormemente esta tarea. Las inversiones en este sentido están fundamentalmente centradas en la localización de contenedores, el posicionamiento de equipos, en sistemas teledirigidos de toma del contenedor y en sistemas de control de balanceo del *spreader*. La combinación de todas

estas innovaciones ha dado como resultado grúas totalmente automáticas: los ASCs (ver apartado 8.1.5).

Figura 121. RMGs en el Puerto de Vladivostok – Rusia



Fuente: Liebherr-Werk Nenzing GmbH

Respecto a las innovaciones encaminadas a la reducción de consumos y emisiones, a los RMGs pueden aplicársele prácticamente las mismas que a los RTGs.

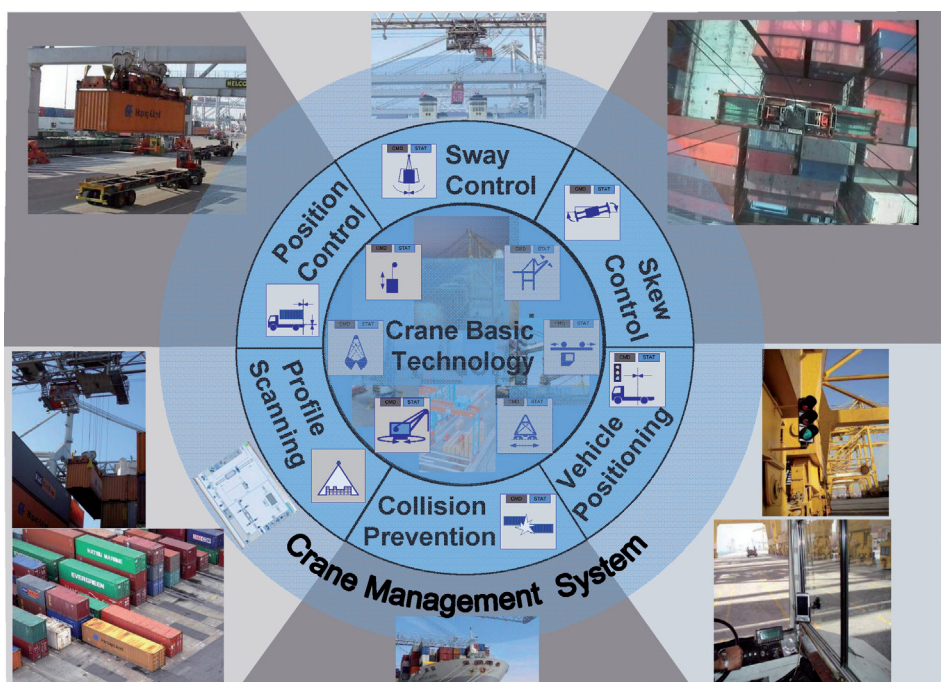
### 8.1.4.1. Mejora del rendimiento operacional

#### 8.1.4.1.1. Controlador centralizado de movimientos

La empresa Siemens ha desarrollado un sistema de módulos preconfigurado, denominado comercialmente como *Simocrane* (Figura 122), que permite el control y la automatización de grúas de patio. Este sistema se divide en tres módulos: *Simocrane Basic Technology*, *Simocrane Advanced Technology* y *Simocrane CMS* (Siemens AG, 2010).

*Simocrane Basic Technology* está constituido por una plataforma que contiene un controlador de los movimientos básicos de la grúa como el desplazamiento del pórtico, la traslación del carro, el izado del *spreader*, la captura del contenedor, etc.

Figura 122. *Simocrane Technology*



Fuente: Siemens AG (2010)

Por su parte, *Simocrane Advanced Technology* controla los movimientos adicionales más específicos como el giro, el movimiento pendular, y los balanceos longitudinal y transversal del *spreader* (ver apartado 7.1.1.1.3), el posicionamiento de los vehículos, y otros aspectos como el escaneado del perfil de las pilas, el control de las posiciones de los equipos en patio y el sistema de prevención de colisiones.

Finalmente, la visualización de cualquiera de los parámetros mencionados se puede realizar a partir de *Simocrane CMS (Crane Management System)*.

Las principales ventajas del sistema son:

- elevado grado de fiabilidad;
- mejora de la productividad: el control centralizado de los movimientos de la grúa permite velocidades más elevadas y mayor precisión; y
- alta flexibilidad: puede adaptarse a las necesidades de cada cliente, incluso pudiendo este desarrollar sus propios módulos funcionales e integrarlos en la plataforma *Simocrane*.

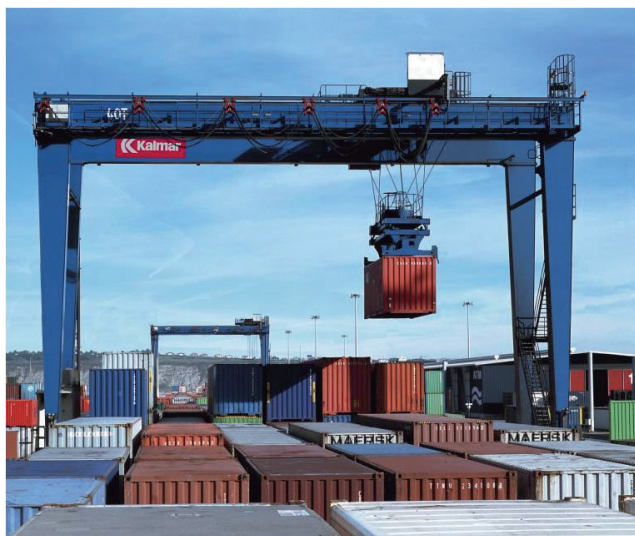
Siemens añade que este sistema puede aplicarse a otros tipos de grúas como las grúas de muelle (tanto con *spreader* sencillo como con *twin-lift*), e incluso a las grúas pórticos de aplicación industrial.

### **8.1.5. Automatic Stacking Crane (ASC)**

Un caso particular de RMGs, pero que por sus diferencias operativas con los anteriores y debido a que ha sido la gran innovación en automatización de patio y a que en los últimos años la tecnología ha alcanzado el nivel de estado del arte, puede considerarse como un equipo con entidad propia, son los llamados ASC (*Automatic Stacking Cranes*, Figura 123). Igual que los RMGs, estos equipos se trasladan sobre carriles, pero funcionan de manera automática sin manipulador en la propia máquina.



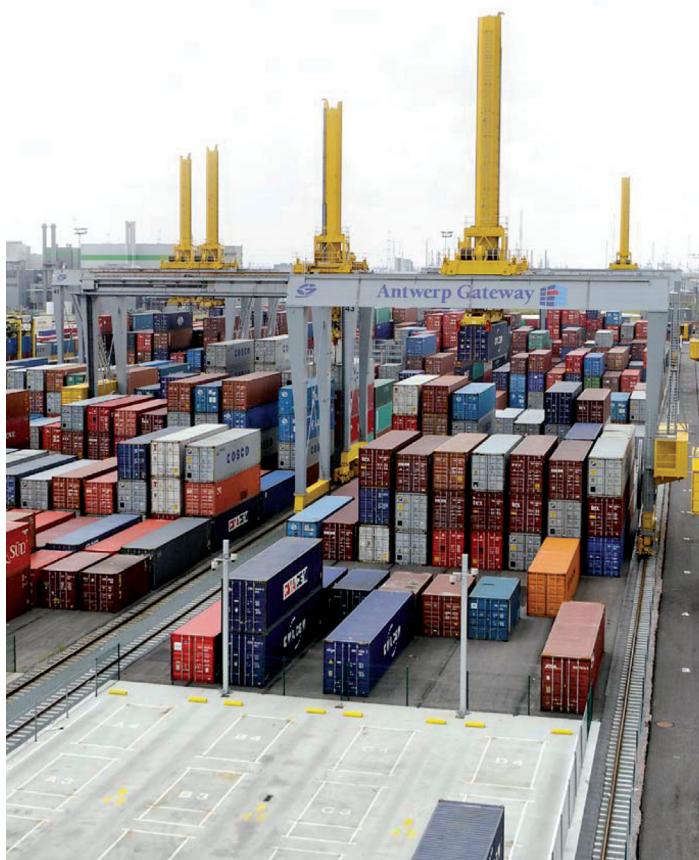
Figura 123. Grúa tipo ASC



Fuente: Cargotec Corporation

La estructura de los ASCs es muy similar a la de los RMGs; sin embargo no dispone de cabina para el conductor y en ocasiones el sistema de cables que sostiene y acciona el *spreader* se sustituye por un elemento no flexible que evita los movimientos no deseados del mismo giro, movimiento pendular y balanceos (Figura 124). De este modo se confiere al equipo la rigidez necesaria en los tres ejes del espacio sobre los que se desplaza para poder automatizarlo con facilidad.

Figura 124. ASCs con guía rígida



Fuente: Gottwald Port Technology GmbH (200-?a)

Un tipo especial de estos equipos son los ASCs pasantes (Figura 125), ya usados en alguna terminal. Esta nueva concepción permite operar con ASCs de distinto tamaño lo que permite que se crucen las trayectorias de los equipos. Para ello es necesaria la instalación de varios raíles paralelos a los costados de las pilas sobre los que irán montados los equipos.



Figura 125. ASCs pasantes



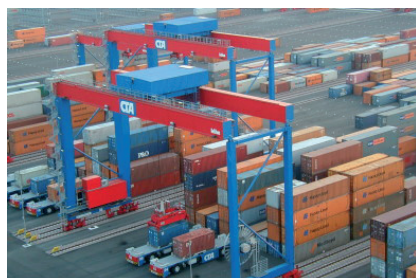
Fuente: Cargotec Corporation

Las terminales con patios de ASCs utilizan como vehículos de interconexión para el enlace muelle-patio bien equipos convencionales, *straddle carriers* o mini SCs, como las terminales Antwerp Gateway, TTI Algeciras o BEST Barcelona, o bien equipos guiados automáticamente (AGVs, Figura 126).

Figura 126. ASC + *straddle carriers* vs. ASC + AGVs



Fuente: Gottwald Port Technology GmbH



Fuente: INFORM GmbH

Respecto a la operativa de recepción y entrega terrestre, los propios pórticos se encargan de la operación en el caso de transporte por carretera. Esta se realiza de modo automático, con intervención del operador de forma remota solo en la parte del movimiento que se realiza sobre el camión. Para el transporte por ferrocarril es necesario un equipo auxiliar.

En la Tabla 14 se muestran las especificaciones técnicas generales de los ASCs.

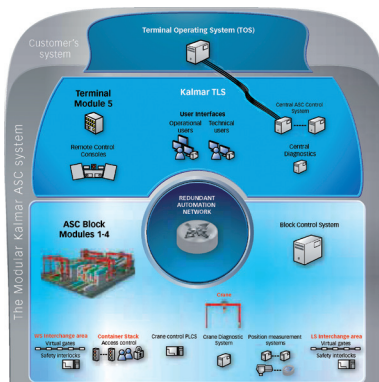
**Tabla 14. Especificaciones técnicas de ASCs**

Anchura de raíles	6–10 contenedores
Altura de apilado	1 sobre 5 contenedores
Velocidad de izado	45-90 m/min
Velocidad del carro	60 m/min
Velocidad del pórtico	180-270 m/min

Fuente: Cargotec Corporation

Los ASCs, debido a que son automáticos, necesitan un *software* y otros componentes de control para su funcionamiento (Figura 127). Este *software*, coordinado con el TOS, es el encargado de gestionar y monitorizar los movimientos de los equipos, evitar colisiones y determinar la velocidad y ruta óptima de traslación, garantizando de esta manera la seguridad de la operativa tanto en lo relativo a accidentes como en lo que a fallos se refiere.

**Figura 127. Red de trabajo de ASCs**



Fuente: Cargotec Corporation

Algunos TOS han incorporado la opción de un *Automated Stacking Crane Manager* que supone una solución centralizada y monitorizada de gestión de este tipo de equipos, que en el caso del TOS de Navis del grupo Cargotec, se integra con los módulos Navis SPARCS y SPARCS N4 (Navis, 2011b). La herramienta equivalente para optimizar y automatizar la gestión de la flota de RTGs se llama *RTG Commander* (Navis, 2011a).

Las principales ventajas de los ASCs son:

- la obtención de mayores densidades de uso del suelo (de acuerdo con Gottwald, incluso del 18% respecto a configuraciones obtenidas con RTGs);
- la mejora de la productividad;
- la reducción de los costes de personal portuario y operacionales;
- el incremento de la seguridad de las operaciones;
- la fiabilidad de la operativa; y,
- la disminución de los niveles de ruido de la terminal.

Por otro lado, ya que estos equipos están electrificados (normalmente mediante un sistema de carrete motorizado) tienen las ventajas derivadas del uso de energía eléctrica. Además se les pueden incorporar otras mejoras de reducción de consumos y emisiones en principio desarrolladas para otros equipos.

Entre los principales inconvenientes para su implantación se encuentra el elevado coste de adquisición e instalación del sistema.

Este tipo de equipos está en funcionamiento en algunas terminales, sobre todo en Europa. La primera fue ECT Delta Terminal de ECT en el Puerto de Rotterdam que entró en servicio en 1993. Otras más recientes son Terminal Antwerp Gateway Terminal en el Puerto de Amberes, London Thamesport en Meway Ports, APM Terminals Virginia en Norfolk, TTI Algeciras en el Puerto Bahía de Algeciras y BEST en el Puerto de Barcelona inaugurada en septiembre de 2012. Otras se están cambiando a este sistema de almacenamiento, como la Terminal Burchardkai del Puerto de Hamburgo cuya conversión comenzó en el año 2007 y pretende terminar en el 2015 dando como resultado la automatización de la terminal (Kalmar Intelligence and Automation, 2006c).

#### **8.1.5.1. Sistema ASC para contenedores vacíos**

Un avance respecto al Estado del Arte de la automatización de terminales con grúas ASC es el sistema de almacenamiento de contenedores vacíos implantado en la Terminal 5 Wai Quiaxiao del Puerto de Shanghai en China (Figura 128).

Figura 128. Sistema ASC para contenedores vacíos de la Terminal 5 Wai Quiaxiao (Puerto de Shanghai – China)

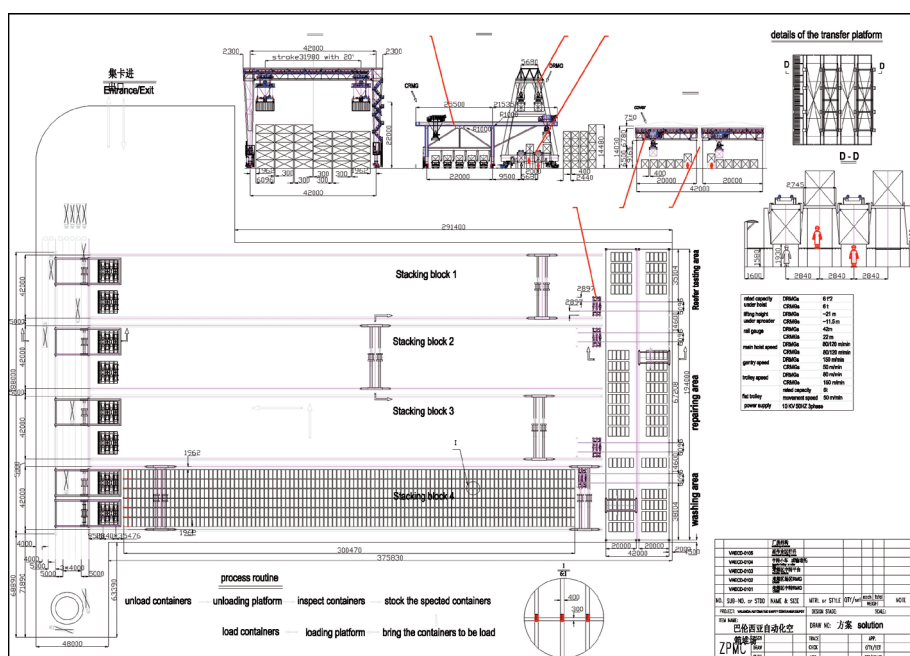


Fuente: Fundación Valenciaport

La singularidad de este sistema reside en cómo se efectúa la conexión entre los equipos de almacenamiento y los equipos de interconexión. Los equipos de almacenamiento son pórticos ASC de gran tamaño, uno por pila, que generan pilas de grandes dimensiones con la particularidad de que la disposición de los contenedores en ellas es perpendicular a la dirección de desplazamiento de los ASCs. Esto se debe a la existencia de unos pórticos secundarios también automáticos que cargan y descargan los contenedores sobre los equipos de interconexión que, al igual que estos, se desplazan en dirección perpen-

dicular a las pilas, y por tanto a los ASCs del patio. Los ASCs de patio están dotados de dos *spreaders* por lo que optimizan sus recorridos. En la Figura 45 se observa el pórtico secundario del sistema y al fondo a la derecha los ASCs sobre las pilas de contenedores vacíos. La Figura 129 representa el diseño de este sistema.

Figura 129. Diseño de sistema ASC para *depot* de contenedores vacíos en Valencia



Fuente: ZPMC y Fundación Valenciaport

Este sistema tiene dos ventajas, la primera es la automatización del *depot*, como también ocurre con el sistema que se acaba de comentar de grúas ASC; la segunda, la alta densidad de almacenamiento que proporciona este sistema.

Debido a la demanda de las grandes navieras, algunos puertos de Latinoamérica se están planteando implantar sistemas similares a este, con el fin de reducir las tarifas de almacenamiento para contenedores vacíos y obtener una ventaja competitiva respecto otros puertos de esa área geográfica.

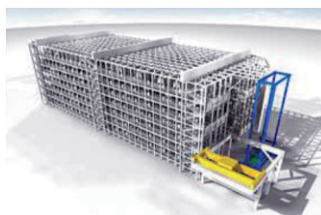
Una solución con una configuración similar para el almacenamiento de contenedores llenos requeriría equipos con mayores prestaciones técnicas y por lo tanto más caros.

#### **8.1.6. Hangar de contenedores**

Para finalizar con las innovaciones en el subsistema de almacenamiento, la naviera japonesa NYK Line construyó en agosto 2008 un almacén de contenedores en el muelle 6 de la terminal de contenedores de Tokyo Ohi del Puerto de Tokio (Japón) (WorldCargo News, agosto 2008).

La iniciativa, inspirada en un almacén industrial, consiste en un hangar de vigas de acero cuyas dimensiones son: 150 m de longitud, 56 m de anchura y 31 m de altura; ocupa una superficie de 8.400 m<sup>2</sup> y su capacidad estática es de 420 TEU. Está completamente automatizado y cuenta con un sistema de clasificación de contenedores.

Figura 130. Diseño de hangar de contenedores de NKY



Fuente: WorldCargo News (agosto 2008)

Para el apilado y desapilado de contenedores el hangar está dotado de dos grúas de almacén provistas de sendas plataformas rodantes que deslizan los contenedores dentro de las celdas que forman las vigas de la estructura y lo depositan en su posición. Cada una de estas grúas se alimenta de otra grúa encargada de transferirle los contenedores. Asimismo su diseño contempla celdas especiales para la conexión de reefers.

NYK sostiene que el conjunto será capaz de realizar 48 movimientos/hora frente a los 36 movimientos/hora que realizan los RTGs y, con la eliminación de las remociones para acceder a contenedores situados en niveles inferiores, pretende reducir el tiempo de manipulación una media de 8 minutos. También añade que el hangar incrementará la tasa



de utilización de los 8.400 m<sup>2</sup> que ocupa de 36.000 TEUs/año a 60.000 TEUs/año. Por otro lado, las emisiones de CO<sub>2</sub> se verán disminuidas en un 63% respecto a cualquier terminal que emplee equipos diésel.

Este almacén es el primero del mundo con estas características. Con anterioridad, en países como Holanda, Bélgica, Reino Unido, Irlanda, Suiza, España y Australia se han instalado armazones para apilar contenedores aunque con objetivos diferentes. El hangar almacena las cajas con una menor densidad pero tiene la ventaja de tener mucha mayor accesibilidad, lo que combinado con el sistema de clasificación de contenedores elimina casi por completo los movimientos de remoción.

## 8.2. Innovaciones de gestión

### 8.2.1. Mejora del rendimiento operacional

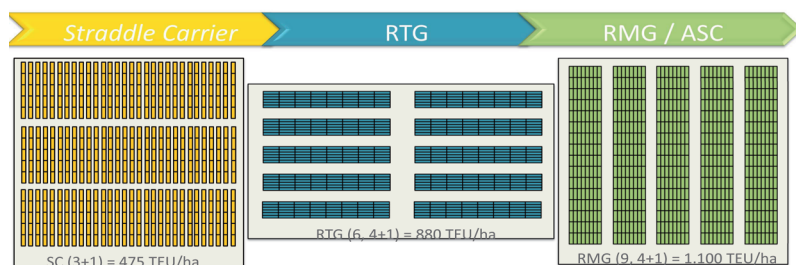
La mejora del rendimiento y de la capacidad de una terminal en términos de innovaciones de gestión está directamente vinculada con cuestiones relativas a la optimización de la configuración de la terminal y otros factores como el *pooling* de equipos, la trazabilidad de los contenedores y equipos, entre otros. Muchas de estas mejoras se proyectan con el objetivo principal de aumentar el rendimiento y capacidad de la terminal, pero también inciden en la reducción del consumo energético de los equipos debido a la optimización y reducción de los recorridos de los mismos. En el Anexo se analizan con mayor profundidad algunas de las que se mencionan a continuación.

#### 8.2.1.1. Optimización de la configuración de patio

Tal y como ya se ha comentado anteriormente, uno de los aspectos más relevantes en la planificación y gestión de una terminal es la configuración del patio de almacenamiento. Esta configuración depende y condiciona la elección del equipo principal de almacenamiento, obteniéndose diferentes densidades de almacenamiento en función de la tipología de equipos. La determinación del espacio mínimo necesario en la TPC está directamente relacionada con el cálculo de su capacidad y depende de factores tales como la densidad superficial del equipamiento empleado (Figura 131), la altura de apilado, el tiempo medio de permanencia de un contenedor en patio y el volumen de tráfico (Monfort et al., 2011b).



Figura 131. Configuración y capacidad estática del patio en función del equipo empleado



Fuente: Vieira et al. (2011)

Además, existen múltiples posibilidades a la hora de establecer la configuración del patio de una terminal en función de la disposición de las pilas en planta, anchuras y disposición de los pasillos y viales, configuración de las pilas, distancias entre ellas, bloques y contenedores, agrupación de los tráficos en función de sus orígenes/destinos, sentido de circulación, geometría del patio de la terminal, entre otros.

Cuanto más compacta sea la terminal menor será el recorrido medio realizado por los equipos optimizando las operativas, pero en contrapartida muchas veces la escasez de espacio obliga a un aumento de la altura de apilado, incrementándose el número de remociones. En este sentido, la búsqueda de la optimización del uso del espacio en la terminal está motivada por varios factores: económicos, productivos (capacidad) y energéticos. Por un lado, la tasa de ocupación que debe pagar el concesionario de la terminal al gestor del puerto es proporcional a su tamaño. Por otro lado, se debe buscar la maximización de la capacidad del patio a través de la optimización de la altura de apilado (en función del equipo y del TOS empleado), minimizando las remociones.

Según Busk (2007), la determinación óptima de la configuración del patio una TPC puede llegar a representar para la misma un incremento de la capacidad de almacenamiento de hasta el 25% y llegar a reducir el coste por movimiento de contenedor en un 5%.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética la disminución de la superficie de almacenamiento de la terminal reduce los recorridos de todos los equipos, lo que supone la reducción del tiempo de ciclo de carga/descarga y demás operativas lo que conlleva un aumento de la eficiencia y un importante ahorro de energía, sea esta de combustión o eléctrica. Este segundo aspecto, además de generar beneficios económicos, es también beneficioso en términos ambientales debido a la reducción de las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

A continuación se presentan algunas medidas de gestión relacionadas con los aspectos para lograr una mejor optimización del uso del patio de una terminal portuaria de contenedores.

### 8.2.1.1.1. Disposición de las pilas en planta – Agrupación de los tráficos

Normalmente, en la gestión del patio de almacenamiento se definen distintas áreas de agrupación de tráficos: zonas diferenciadas para los contenedores de importación, exportación y transbordo, contenedores vacíos, contenedores de 20' y 40', contenedores con mercancías peligrosas, contenedores especiales (sobredimensionados, *reefers*, etc.), carga y descarga del ferrocarril, etc. Adicionalmente, en el caso de las grandes terminales, en cada una de estas áreas pueden reservarse espacios para grandes clientes y determinados servicios (líneas). Todos estos condicionantes dificultan la optimización del uso del patio, aumentando la superficie de almacenamiento y por consiguiente, incrementando los recorridos medios tanto de los equipos de almacenamiento como de los de interconexión (Vieira et al., 2011), que es lo contrario de lo que se persigue.

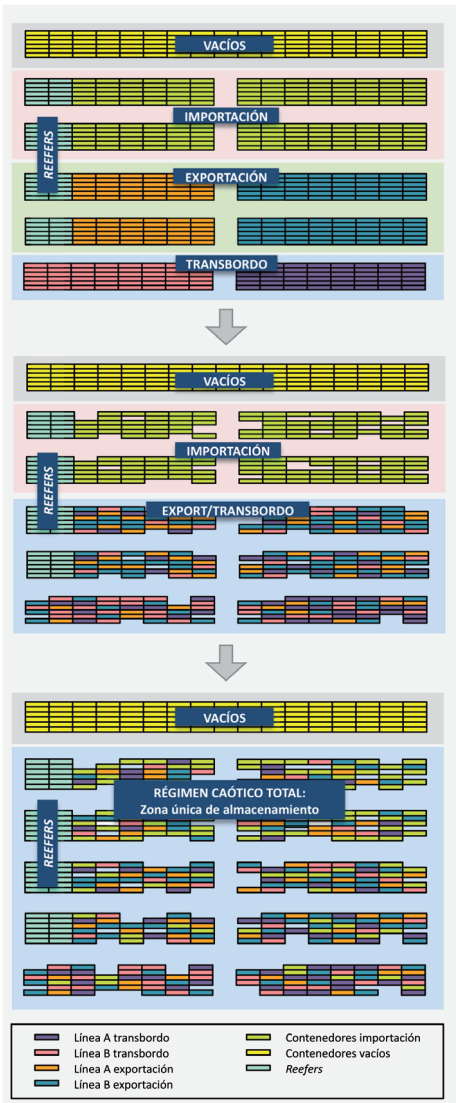
La optimización del espacio pasa por la adopción del llamado “régimen caótico” de almacenamiento (Figura 132), donde el TOS de la terminal es el que asigna la “mejor” ubicación de cada contenedor considerando unos algoritmos de optimización definidos por el personal de la terminal, como la minimización de remociones y la optimización de recorridos de los equipos tanto en las operaciones de carga y descarga como en las de recepción y entrega. En este caso no habría –o habría muy poca– agrupación de tráficos. Para implantar este sistema es necesario un alto grado de desarrollo del TOS y el funcionamiento automático del patio, de modo que el TOS, además de asignar las posiciones de los contenedores, asigne las órdenes de trabajo a cada equipo con una mínima intervención humana. Además es necesaria la implantación de TICs que aseguren la comunicación rápida y fiable de órdenes y confirmaciones entre el TOS y los equipos de patio y transporte horizontal.

Algunas de las desventajas del régimen caótico de agrupación de los tráficos en el patio son las retenciones de los recursos humanos en trabajar con un sistema en el que no hay una zona específica asignada a cada equipo de almacenamiento.

En terminales con patio convencional, el rendimiento operacional es mayor si este está organizado en grupos, aunque se pierde capacidad de almacenamiento.

El uso de herramientas de simulación puede ser de gran ayuda para ver la efectividad de la aplicación de un régimen caótico antes de implementarlo en una terminal.

Figura 132. Tipos de zonificación del patio de almacenamiento



Fuente: Vieira *et al.* (2011)

### 8.2.1.1.2. Sistemas de gestión de apilado

Los sistemas de control y gestión, como puede ser el TOS y sus módulos auxiliares, ayudan a agilizar la logística de las operaciones de las TPCs. Estos sistemas planifican y controlan los movimientos de contenedores, aumentando la eficiencia de los equipos de patio, maximizando el espacio de almacenamiento, reduciendo costes y aumentando la seguridad en la terminal entre otros aspectos. Adicionalmente se puede introducir la eficiencia energética como criterio en los diseños lógicos de estas herramientas de gestión (Vieira *et al.*, 2011).

Las causas más relevantes de ineficiencias operativas en el patio son el elevado número de remociones que se efectúan y los trayectos en vacío. Conviene introducir como criterios de optimización tanto en la asignación de la ubicación del contenedor en el patio como de las órdenes de trabajo, la minimización de ambos factores.

En este sentido, a través de la implementación de un *software* se podrían incluir estas variables en los modelos de ayuda a la toma de decisiones operativas, a lo que hay que añadir el factor del coste económico vinculado al consumo energético.

Durante la estancia del contenedor en el patio de la terminal, este puede ser reubicado varias veces, tras la asignación de su posición inicial. En función de su origen y de su destino marítimo y terrestre, se puede estimar la duración de la estancia en la terminal. Contrastando esta estimación para cada contenedor con la fecha real de llegada y el peso se puede optimizar la configuración de pila para evitar remociones, especialmente para los contenedores más pesados.

Con el criterio de minimizar el consumo energético, el *software* estimaría la energía que se necesita en cada uno de los movimientos por medio de un modelo analítico y, de todas las posiciones posibles que puede ocupar el contenedor, seleccionaría aquella que genera un menor consumo. Los parámetros que se tendrían en cuenta para evaluar el consumo de los movimientos incluyen tanto aquellos que evalúan el movimiento inmediato, como los que consideran los movimientos potenciales posteriores. Este criterio redundaría en la reducción de las emisiones, en un incremento de la productividad bruta del equipo de patio y, tal y como pretende, en una reducción de los costes energéticos por contenedor manipulado.

Implementar el criterio energético en la gestión de apilado de una TPC vinculándola con el TOS puede suponer hasta un 20% de ahorro de consumo de energía y una reducción del 9% en el número de remociones, tal y como se comprobó con una simulación realizada por Modern Port Technologies Inc. (Goussiater, 2008a y 2008b).

#### 8.2.1.2. *Pooling* de equipos

El *pooling* es un término utilizado para la gestión de recursos que consiste en la agrupación y combinación de todos los equipos dedicados a una misma actividad con la finalidad de minimizar su número, maximizando la utilización de cada uno de ellos y reduciendo los costes de explotación.

En el caso de las TPCs, los equipos a los que normalmente se aplica el *pooling* son los de interconexión (plataformas, RSs, SCs o AGVs) y los equipos de patio (RTGs, RMGs, SCs o ASCs). La aplicación del *pooling* a este último grupo es la más extendida y se aplica en casi todas las grandes terminales, y supone que todos los equipos de patio sirven indistintamente a cualquier operativa (marítima, terrestre y *housekeeping*).

El *pooling* de equipos bien gestionado puede aportar grandes beneficios a una terminal de contenedores, entre ellos grandes ahorros energéticos, puesto que con este sistema de gestión se logra minimizar los recorridos de los equipos y disminuir los viajes en vacío. En este sentido, donde más beneficios se obtienen con la aplicación del *pooling* es en los equipos de interconexión (ver apartado 10.2.1.1). En el caso de las terminales que utilizan *straddle carriers* como equipo de patio, la implantación de esta medida puede ser aún más efectiva y se puede aumentar la optimización del sistema ya que estos equipos son utilizados tanto para el almacenamiento como para la interconexión entre subsistemas.

#### 8.2.1.3. Trazabilidad de contenedores y equipos en tiempo real

El sistema *WhereNet® Marine Terminal Management* es la adaptación a puertos del sistema *WhereNet® Real Time Location Tracking Systems* (RTLS) que permite la trazabilidad de cualquier objeto en tiempo real.

La particularización del sistema para terminales portuarias de contenedores permite, mediante un sistema *wireless*, localizar, seguir y gestionar contenedores y equipos de manipulación en puertos con un gran movimiento de contenedores. Esta tecnología ha sido desarrollada por la empresa WhereNet Corp. (propietaria del software *WhereNet® RTLS*) junto con PACECO Corporation, quien ha diseñado los sensores del sistema: *Position Tracking Interface Unit* (PTIU). La combinación de ambos elementos ofrece a la terminal información exacta y en tiempo real de cada contenedor almacenado en el patio permitiendo optimizar las operaciones e incrementar la capacidad del subsistema (PR Newswire, octubre 2012).

Una de las principales ventajas de *WhereNet® Marine Terminal Management* es que ofrece una solución integrada que realiza un seguimiento del contenedor monitorizado frente otras alternativas que se configuran como un conjunto de módulos que deben adquirirse por separado.

La herramienta está compuesta por aparatos de radiofrecuencia *WhereTag™* y una red *wireless* llamada *WhereLAN™* que permite la transmisión de datos en tiempo real. Gracias a esta característica el sistema es de gran utilidad, no solo para la planificación del patio de la terminal, sino también para la planificación de operaciones y la optimización de recursos, ya que la misma tecnología permite, además de la ubicación de contenedores, la ubicación de equipos. Toda esta información se recoge y almacena en la base de datos *WhereNet database*.

Por otro lado, *WhereNet® Marine Terminal Management* se combina con un sistema OCR que permite la identificación automática de contenedores, eliminando la intervención manual de la operativa.



*El que deja de mejorar, deja de ser bueno.*

Oliver Cromwell, político, militar y  
legislador





## Subsistema de recepción y entrega

El subsistema de recepción y entrega en una terminal de contenedores es el que se encarga de la interfaz entre la terminal y el modo terrestre, atendiendo a camiones externos y trenes.

En la terminal hay que distinguir entre las operaciones de acceso y salida de camiones externos y ferrocarriles de la terminal, y las de recepción y entrega de contenedores. Las primeras están asociadas al funcionamiento de las puertas terrestres y a los procedimientos de identificación de vehículos y contenedores, mientras que la recepción y entrega propiamente dicha depende de los equipos asignados a esa operativa y del sistema de gestión que organiza el trabajo y maneja el volumen de información vinculado al mismo (Monfort *et al.*, 2011a).

Es necesario aclarar que la recepción y entrega se entienden desde el punto de vista de la terminal y no según el del transporte externo. Así una operación de recepción es aquella en la que se descarga un contenedor del camión o el ferrocarril que lo transporta una vez llega a la terminal, mientras que en una operación de entrega, los equipos de la terminal cargan un contenedor sobre el vehículo externo.

Las operaciones que se llevan a cabo en este subsistema son los procedimientos de acceso terrestre —relacionados con el flujo documental del transporte—; el direccionamiento de los camiones externos a la

ubicación donde se realizará la recepción o la entrega física —asignada por los planificadores de la terminal o por el TOS—; y la recepción o la entrega física del contenedor para lo cual es necesaria la asignación de órdenes a los equipos que se van a encargar de ello.

Desde la perspectiva planificadora y de gestión este subsistema no debe limitar la capacidad de la terminal, por lo tanto es esencial que esté dotado de equipos y recursos suficientes para atender las actividades mencionadas y no convertirse en cuello de botella de la misma. En el caso de los camiones externos, el flujo de acceso depende del número de puertas, del horario de las mismas, del tiempo requerido en la operación de entrada o salida y del volumen de contenedores con origen o destino en el *hinterland* de la terminal. En el caso del ferrocarril, se supone que la terminal tiene el número de vías suficientes para atender el tráfico de entrada y salida de las mercancías por este medio (Monfort et al., 2011b). De la misma forma debe tener equipos suficientes para la realización de las actividades de recepción y entrega física de los contenedores. Hay que tener en cuenta que estos equipos muchas veces son compartidos con la operativa de otros subsistemas, fundamentalmente el de almacenamiento.

En línea con lo anterior, el principal requerimiento del subsistema de recepción y entrega es la agilidad en sus actividades y procesos, de modo que mejore y no interfiera en el buen funcionamiento del resto de la terminal. Las innovaciones en este subsistema están relacionadas con la automatización de los procedimientos físicos de acceso y salida o del flujo documental asociado al transporte. La recepción y entrega propiamente dichas se realizan con equipos de almacenamiento, cuyas innovaciones se han descrito en el Capítulo 8, o con equipos auxiliares de transporte interno, que trasvasan los contenedores entre los medios de transporte terrestre externos y el patio, cuyas innovaciones se analizan en el Capítulo 10.

## **9.1. Innovaciones tecnológicas**

En el subsistema de recepción y entrega las innovaciones tecnológicas van encaminadas sobre todo al aumento de seguridad y protección y a la automatización de la puerta terrestre de la terminal al objeto de la mejora del rendimiento operacional, la capacidad y el nivel de servicio.

### 9.1.1. Mejora del rendimiento operacional

Con la finalidad de mejorar la eficiencia y el nivel de servicio en las operaciones portuarias, así como el rendimiento y la seguridad en el control de entrada y salida de mercancías en el puerto han aparecido los sistemas de puertas automáticas en las TPCs y en los accesos a los puertos. Los sistemas integrados de automatización de puertas combinan herramientas y procedimientos automatizados, tales como la detección de vehículos, barreras físicas, sistemas de señalización, sistemas de identificación de contenedores –transportados en camión o ferrocarril–, vehículos y conductores, captura de imágenes del vehículo y del contenedor, etc., minimizando la intervención humana (Figura 133). Además de dichas tecnologías es necesario disponer de sistemas de gestión de procedimientos para verificación y control aduanero y de sistemas de comunicación en tiempo real para la verificación, autorización y notificación de la entrada y salida de la mercancía del recinto.

Figura 133. Sistema de puertas automatizadas del Puerto de Valencia



Fuente: Fundación Valenciaport

Las soluciones de automatización en las puertas terrestres de las terminales portuarias ayudan a los operadores de las mismas a realizar la recepción y entrega de contenedores, minimiza el tiempo de proceso de las actividades y las colas en las puertas, maximiza la productividad, aumenta la seguridad y la protección y reduce los costes de la operación.

A fecha de 2012 existen varias empresas en el mercado que ofrecen soluciones tecnológicas integradas para la automatización de las puertas de las terminales y recintos portuarios, entre las que se pueden mencionar APS Technology Group, Camco Technologies NV, Nestor Technologies y Visy Oy. Estas empresas ofrecen desde garitas de acceso, pilares de autoservicio o sistemas automáticos de operación de barreras, hasta portales OCR, sistemas RFID y sistemas de integración con el TOS.

#### **9.1.1.1. Sistemas de identificación del contenedor, vehículo y conductor**

Las tecnologías utilizadas para la identificación del contenedor, del vehículo y del conductor son, además del código de barras y las bandas magnéticas –utilizados desde hace tiempo– los sistemas OCR y RFID, tarjetas inteligentes, biometría, etc. que tienen como ventajas adicionales sobre aquellos la precisa y completa recopilación de datos de forma automática sin necesidad de intervención del personal.

##### 9.1.1.1.1. Sistema OCR

Los sistemas OCR (*Optical Character Recognition*) son sistemas mecánicos o electrónicos que permiten la traducción de caracteres escritos a mano o impresos a texto editable mediante *software*, es decir, son sistemas de digitalización de textos. Hoy en día, estos sistemas han evolucionado a una nueva metodología de identificación basada en el reconocimiento digital mediante el uso de escáneres y algoritmos, y son capaces de reconocer los caracteres con un porcentaje de aciertos muy elevado, en algunos equipos superior al 99% (Monfort et al., 2011a).

Se trata de una tecnología de altísima fiabilidad que se está aplicando en las puertas de las TPCs tanto para la identificación automática de las matrículas de los vehículos y remolques (llamado sistema LPR, *License Plate Recognition*), como del número de los contenedores (sistema ACCR, *Automatic Container Code Recognition*) y de las etiquetas IMO.

Los sistemas OCR incrementan la seguridad y el rendimiento de los procedimientos de acceso.

Su implantación consiste en la colocación de pórticos en los carriles de acceso a la terminal o al puerto (Figura 2) equipados con la siguiente tecnología:

- Sensores láser y magnéticos, utilizados para la detección de vehículos e identificar el momento exacto de la captura de la imagen. Estos dispositivos también cuentan con mecanismos y herramientas que evitan el accionamiento indebido del sistema por la circulación de personas cerca de las puertas.
- Múltiples cámaras, normalmente del tipo CCTV (Cámaras de Circuito Cerrado de Televisión) con sensores CCD (*Charge Couple Device*), que permiten la captura de imágenes diurnas y nocturnas, sean éstas normales o reflectantes –como es el caso de las matrículas de vehículos– y que poseen alta sensibilidad para luz infrarroja.
- Iluminadores tipo LEDs, estroboscopios, etc., que crean una buena condición de captura de imágenes independientemente de las condiciones de luminosidad del ambiente, y que están sincronizados con las cámaras: el accionamiento se realiza de forma que la intensidad correcta del flash alcanza la matrícula u objeto a ser identificado en el momento exacto de la captura de la imagen.

Estos pórticos también pueden estar equipados con lectores RFID (*Radio Frequency Identification*), monitores de radiación y básculas.

Las referidas instalaciones permiten capturar imágenes de calidad e identificar los códigos de cada contenedor en tiempo real, mientras que la tecnología OCR traduce las imágenes a datos, que posteriormente son transmitidos al sistema operativo de la terminal. Las cámaras también capturan los laterales del contenedor para la inspección de posibles daños en los mismos. Incluso es posible obtener imágenes del conductor.

En el diseño de un sistema de estas características hay que considerar la localización y fijación correcta de las cámaras en un lugar resistente a los golpes y a las condiciones meteorológicas extremas para evitar la obtención de imágenes borrosas. Además se deben minimizar las sombras producidas por los propios soportes.

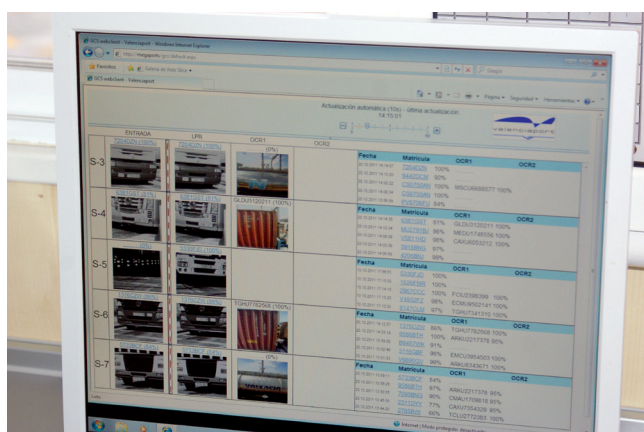
Figura 134. Instalación de sistemas OCR en las puertas del Puerto de Valencia



Fuente: Fundación Valenciaport

La Figura 135 es un ejemplo del *software* del sistema OCR de los carriles de salida del Puerto de Valencia, donde se muestra la pantalla con la visualización en tiempo real de las matrículas de los vehículos y de los contenedores, así como el porcentaje de acierto de cada lectura.

Figura 135. *Software* OCR con el reconocimiento de matrículas de camiones y de contenedores



Fuente: Fundación Valenciaport

Los problemas inherentes a la identificación alfanumérica son la diversidad de caracteres, fuentes, colores y fondos. Las letras claras sobre fondos igualmente claros dificultan especialmente la lectura. El óxido, los golpes, la sombra que produce la chapa ondulada de los contenedores, la posición del texto, la presencia de caracteres no relevantes y la necesidad de realizar la operación con el vehículo en movimiento hacen imposible lograr una fiabilidad del 100%.

Respecto a los problemas asociados a las sombras, la utilización de fuentes de luz potentes (Figura 136) permite obtener suficiente contraste, pero la solución a los problemas de suciedad y desperfectos en el contenedor así como caracteres mal impresos pasan por la utilización de *software* de mejor calidad o por la introducción manual de los datos.

Figura 136. Sistemas de iluminación de apoyo a los sistemas OCR



Fuente: Fundación Valenciaport



La tecnología OCR también se utiliza para el reconocimiento de la matrícula de los contenedores transportados por ferrocarril (Figura 137) y puede identificar los contenedores de 20 y 40 pies de forma individual o los apilados uno encima de otro, realizando la lectura de las cuatro caras laterales del contenedor.

Figura 137. Pórticos para sistemas OCR en los accesos ferroviarios



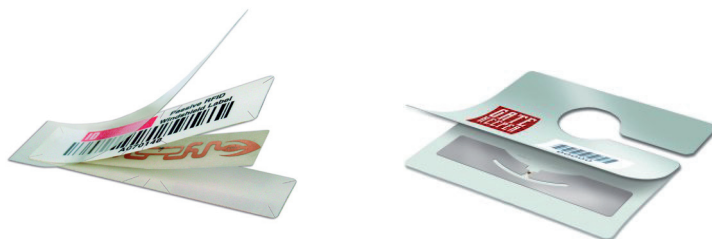
Fuente: HTS Hi-Tech Solutions Ltd.

#### 9.1.1.1.2. Sistema RFID

La identificación por radiofrecuencia o RFID (*Radio Frequency Identification*) es un sistema de comunicación remota, sin cables, entre dos o más dispositivos, donde uno emite señales de radio y el otro responde a la señal recibida de forma automática. Este sistema permite la identificación de un objeto dotado de una etiqueta, un transpondedor o una *tag* RFID mediante la recuperación de los datos almacenados en ellos, vía ondas de radio. La finalidad de la tecnología RFID es automatizar con fiabilidad la introducción de datos en un sistema en tiempo real.

Este sistema consta básicamente de 3 componentes: la etiqueta RFID (*tag*), el lector RFID (*transceptor*) y el *Middleware* (Monfort et al., 2011a). La etiqueta puede ser activa, pasiva (Figura 138) o semipasiva, pudiendo tener una frecuencia operativa del tipo UHF, HF o LH.

Figura 138. Tags RFID pasivas para parabrisas y espejos retrovisores de vehículos



Fuente: Metalcraft Inc.

Las *tags* activas (Figura 139) tienen la ventaja de poseer una fuente autónoma de energía —baterías de litio o de dióxido de magnesio, por ejemplo—, que les permite establecer transmisiones con una señal clara de gran alcance. Su capacidad permite almacenar bastante información y encriptarla para impedir la lectura no autorizada. Adicionalmente estas *tags* pueden contener sensores de posicionamiento global (GPS), enlaces por satélites u otras mejoras.

Figura 139. Ejemplos de *tags* RFID activas para vehículos y contenedores



Fuente: Axxess International Inc. y Shenzhen Aerospace Innotech Co. Ltd.

Los dos grandes inconvenientes del sistema son la incompatibilidad entre las frecuencias UHF en las que transmite el sistema en las diferentes áreas geográficas por las que pasan los contenedores, y el coste que supondría etiquetar electrónicamente la flota mundial de contenedores.

Las *tags* RFID, tanto pasivas como activas, están siendo utilizadas en las terminales portuarias de contenedores en el control de accesos, para la identificación y seguimiento de los camiones externos y de los contenedores.

En los pórticos de entrada y salida de las terminales se instalan unos lectores RFID (ver Figura 140) compuestos por una antena, un transceptor y un decodificador. Cuando el camión pasa por el pórtico, el sistema recibe la información de la tarjeta a través de la antena. Pueden adquirirse los datos de varios vehículos y contenedores simultáneamente gracias a un algoritmo de anticolidión. Se comprueba si el vehículo tiene permiso para entrar o salir, al tiempo que queda registrado en el TOS la llegada o salida del vehículo y del contenedor, si este va cargado.

Existen varias empresas que se dedican a la fabricación de estas tecnologías RFID para el sector portuario tales como Savi Technology, Axxess International, IDTechEx, Siemens AG, Shenzhen Aerospace Innotech, Identec Solutions, RFind, Motorola Solutions, etc.

Figura 140. Lectores de *tags* RFID pasivas y activas de largo alcance



Fuente: Shenzhen Aerospace Innotech Co. Ltd.

### 9.1.1.1.3. Sistemas de tarjetas inteligentes y biometría

Los transportistas terrestres representan el grupo más numeroso de visitas a las terminales de contenedores, con un altísimo número de registros de entradas y salidas diarias. Por motivos de seguridad y protección es necesario registrar sus movimientos, minimizando el tiempo necesario en puertas de las TPCs de cada operación.

Para ello, algunos puertos y terminales han puesto en funcionamiento en las puertas un sistema de reconocimiento de transportistas terrestres y también de trabajadores basado en la tecnología de tarjetas inteligentes, o *smart cards*, algunos incluso con sistemas RFID o lectores biométricos de la palma de la mano.

Las tarjetas inteligentes de identificación, bien sin contacto o bien *tags* RFID de proximidad, no solo pueden almacenar la información del acceso –como turno, función laboral, vehículos asociados autorizados tanto para transportistas como para trabajadores de la terminal–, sino que también pueden contener información biométrica como una fotografía o las huellas digitales.

Su función principal en el control de las puertas es comprobar que el conductor transporta el camión y contenedor correctos.

La fotografía codificada en una tarjeta RFID reduce significativamente la posibilidad de falsificación. En los puntos de entrada automáticos se pueden comparar los datos almacenados en una tarjeta RFID con las imágenes capturadas por el sistema de circuito cerrado de TV (CCTV). La fotografía puede ser transmitida desde la tarjeta inteligente a una estación de vigilancia (guardia civil, por ejemplo) o bien, con un número de serie se podría acceder a la imagen de una base de datos y así hacer la comparación.

Las tarjetas inteligentes también pueden tener otras funciones en cuanto a las autorizaciones y permisos, tales como asociar un equipamiento a un empleado en función de su grado de cualificación o restringir el acceso a ciertas áreas.

Las tarjetas con un sistema de RFID pueden servir incluso como tarjetas monedero que permiten a los empleados utilizarlas en las máquinas expendedoras o la cafetería sin necesidad de llevar dinero en efectivo.

Por ejemplo, en el Puerto de Felixstowe funciona un sistema denominado RHIDES (*Road Haulier Identity System*) de tarjetas inteligentes de identidad para el acceso a las terminales de los transportistas. Así, los conductores de las empresas de transporte que acceden al Puerto de Felixstowe deben estar registrados en el sistema RHIDES. El sistema se instaló a causa de las exigencias de seguridad del código PBIP (*ISPS code*). Consiste en tarjetas inteligentes con los datos biométricos que identifican al conductor almacenados en el chip de la tarjeta. El sistema es rápido de usar, permite controles automáticos mediante estaciones o puestos de autoservicio (Figura 141), y funciona incluso en condiciones climatológicas y de contaminación adversas.

Figura 141. Sistema de autoservicio en el acceso de la terminal portuaria



Fuente: Identec Solutions

Cuando el camión llega al puerto, el conductor introduce la tarjeta en un lector y su mano en un lector biométrico (Figura 142). Esta acción analiza simultáneamente más de 31.000 puntos y lleva a cabo 90 mediciones para comprobar la identidad de la persona. Si los parámetros analizados coinciden con los que refleja la tarjeta, el sistema de acceso registra la matrícula del contenedor y permite el acceso al área restringida de la terminal; este proceso de verificación tarda menos de 5 segundos (Ingersoll-Rand plc, 2012).

Figura 142. Escáner biométrico de la palma de la mano



Fuente: Ingersoll-Rand plc

Estos escáneres biométricos suelen colocarse en los puestos de autoservicio de las puertas de las terminales o puertos. Adicionalmente integran voz modular, vídeo, impresión, y otras herramientas para la recopilación de datos.

### 9.1.2. Incremento de la seguridad y la protección

En este apartado se presentan las innovaciones referidas a la protección, para mejorar la seguridad marítima, de la mercancía y de la cadena de suministro, mejorando los niveles de defensa principalmente contra ataques terroristas y contrabando. Es importante indicar que todas innovaciones mencionadas en el apartado anterior sobre la automatización de las puertas de la terminal, además de incidir en la mejora del rendimiento, capacidad y nivel de servicio, también lo hacen en el incremento de la seguridad y la protección de las TPCs.

#### 9.1.2.1. Sistemas de escaneado

La Iniciativa de Seguridad de Contenedores de Estados Unidos (CSI, por sus siglas en inglés) obliga al escaneado (para 2014) del 100% de los contenedores que entran en los puertos de Estados Unidos. Esto ha supuesto el uso de tecnologías para escaneado no intrusivo de contenedores (NII, *non-intrusive inspection*), mediante rayos X y gamma, y el escaneado para la detección de radiación –materiales nucleares y fuentes radioactivas como uranio y plutonio–.

En una TPC lo más importante es que la operación de escaneado interfiera lo menos posible en la fluidez del transporte de los contenedores, sin que se convierta en un cuello de botella y reduzca la capacidad del sistema de recepción y entrega de la terminal. Por lo tanto es fundamental la velocidad de escaneo del equipo. Las tecnologías utilizadas para la automatización de las puertas, como los lectores de matrículas y de identificación de contenedores, desarrolladas con fines logísticos, pueden adaptarse con facilidad para desarrollar también aplicaciones de seguridad. Una de las soluciones más comunes es instalar escáneres de rayos X (Figura 143) y gamma en los portales de entrada de las terminales o del puerto.

Figura 143. Portal con escáner de rayos X en Southampton Container Terminal  
(Port of Southampton – Reino Unido)



Fuente: Science Photo Library

Las tecnologías más viables en términos operativos para el escaneado de vehículos y contenedores en las TPCs son los sistemas tipo pórtico (RPM, *Radiation Portal Monitor*, Figura 144), los reubicables (semi-fijos) y los equipos móviles.

Todos ellos consisten en grandes superficies detectoras de rayos gamma y detectores de neutrones, que permiten la detección pasiva de materiales nucleares y otros materiales radioactivos en contenedores o camiones que entren o salgan de la TPC o del puerto. La alta sensibilidad de detección de los RPM permite el 100% de escaneado de mercancía con un impacto mínimo en el rendimiento. Cuando el camión o el ferrocarril (Figura 145) pasan por los portales, el sistema RPM se activa de modo automático, permitiendo el flujo continuo de vehículos y contenedores.

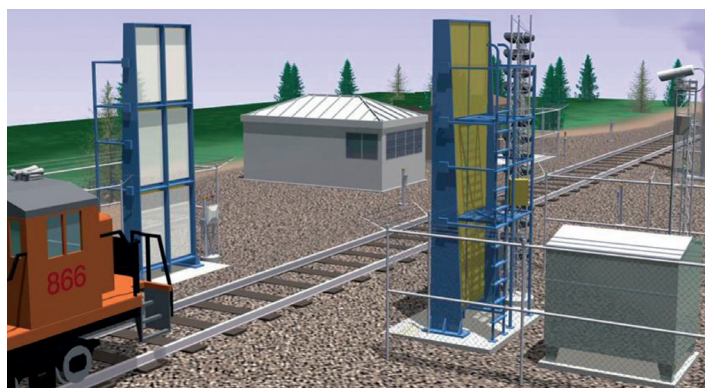


Figura 144. Portal de monitorización de radiación instalado en el Puerto de Felixstowe – Reino Unido



Fuente: Orphan *et al.* (2004)

Figura 145. Esquema del sistema VACIS de escaneado para ferrocarril



Fuente: Simmons (2005)

Los sistemas RPM reubicables (semi-fijos) son los más adecuados para puntos de inspección de carácter temporal, puesto que pueden trasladarse fácilmente (se montan o se desmontan en menos de un día). En estos portales, el escáner se desplaza a lo largo de unos railes y escanea los vehículos estacionados (Figura 146).

Figura 146. Sistema VACIS de escaneo reubicable



Fuente: SAIC

Los sistemas de escaneo móviles (Figura 147) también pueden utilizarse en el entorno portuario. Están montados sobre la plataforma del remolque de un camión y pueden emplazarse en cualquier punto de inspección que se desee, cerca del muelle o en la entrada de la terminal, y establecer una operativa especial en poco tiempo.

Figura 147. Sistema móvil de inspección de radiación



Fuente: Simmons (2005)

Como se menciona en los Capítulos 7 y 8, los *spreaders* pueden incorporar sensores de detección de radiación. Por tanto, también pueden utilizarse estos *spreaders* montados en los equipos que se asignen a la recepción y entrega para el escaneo de los contenedores.

## 9.2. Innovaciones de gestión

### 9.2.1. Mejora del rendimiento operacional

#### 9.2.1.1. Sistemas de automatización de puertas terrestres

Tal y como se ha comentado en el apartado de innovaciones tecnológicas, el control y la automatización de los accesos a las instalaciones portuarias permiten incrementar el nivel de rendimiento, seguridad y protección de las mismas.

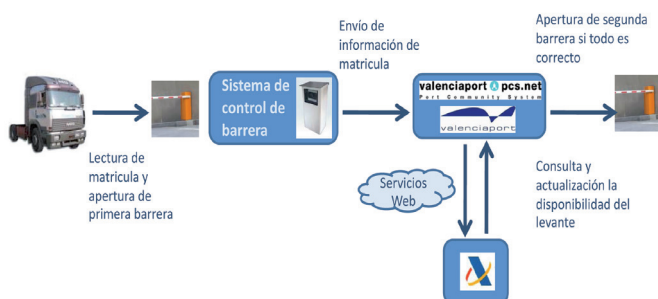
Normalmente la implantación del sistema integral de automatización de las puertas terrestres de una terminal o de un puerto requiere un trabajo conjunto con la Aduana y la Autoridad Portuaria o Terminal en cuestión, para la verificación, autorización y notificación de la salida de las mercancías de los recintos portuarios. Debe incluir un sistema de comunicación en tiempo real conectado con el de la Aduana y con el sistema de información comunitario del puerto en cuestión, además de dispositivos de lectura y reconocimiento de matrículas de vehículos y de contenedores, controles de barreras y sistemas de señalización, todo ello integrado con sistemas de *software* para la gestión de la información recibida de forma automatizada minimizando la intervención de los recursos humanos.

Como ejemplo de este sistema se puede citar el implementado en el Puerto de Valencia. El procedimiento de salida de mercancías del puerto está configurado del siguiente modo (Figura 148):

- Existen paneles luminosos en todos los carriles de salida. En función de la información que suministran el transportista elige un carril.
- El sistema procede al reconocimiento de la matrícula del camión, y si es el caso, del contenedor. La primera barrera se abre de modo automático para que pase el vehículo.
- La información se envía al sistema comunitario ([valenciaportpcs.net](http://valenciaportpcs.net)) que tiene conexión directa con el sistema de la Aduana. Se hacen las consultas pertinentes en ambos sistemas y se responde a través del *software* de gestión (Figura 17).
- Si todo está correcto, la segunda barrera se abre y el camión sale del recinto portuario.

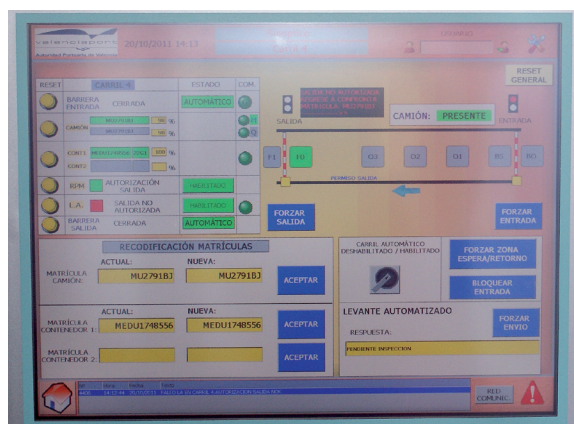
- Si existe alguna incidencia, la segunda barrera permanece cerrada y el conductor recibe instrucciones por un panel informativo.
- En caso necesario, se establece una comunicación en tiempo real a través del interfono situado junto al panel entre el responsable del órgano aduanero (Figura 150) y el transportista.

Figura 148. Sistema de puertas automatizadas del Puerto de Valencia – España



Fuente: Autoridad Portuaria de Valencia

Figura 149. Software para la gestión de los carriles de salida del puerto



Fuente: Fundación Valenciaport

Figura 150. Conexión de video y voz de la Aduana con los conductores en la salida del puerto



Fuente: Fundación Valenciaport

La implementación de este sistema automatizado permite reducir los tiempos de la operativa de salida, factor fundamental para mejorar la productividad, el nivel de servicio y la seguridad de la terminal portuaria.

### 9.2.1.2. Sistema de gestión de citas en las puertas

Para facilitar la gestión del sistema de recepción y entrega, evitar o reducir las colas de camiones, y agilizar el trabajo de recepción y entrega de la carga tanto físico como documental, se pueden implantar sistemas de citas en las puertas, como el *Closing Time* y el de Cita Previa.

#### 9.2.1.2.1. *Closing Time*

En puertos con elevado tráfico de origen y destino en su *hinterland*, se hace necesario implantar un sistema como el *Closing Time* para ordenar el transporte terrestre. Consiste básicamente en el compromiso de los agentes de ordenar el transporte terrestre con cierto periodo de antelación a la retirada o entrega de contenedores, que cada puerto

establece en función de sus características y necesidades. Esta previsión del horario tiene las siguientes ventajas:

- organización y planificación del transporte terrestre con antelación “razonable”;
- laminación de la llegada a puertas y consecuente reducción de las colas;
- simplificación de la operación de Puertas de las Terminales;
- planificación del Patio de las Terminales;
- disminución del tiempo de estancia del camión en la terminal;
- aumento de la productividad;
- optimización de recursos; y
- mejora de la información.

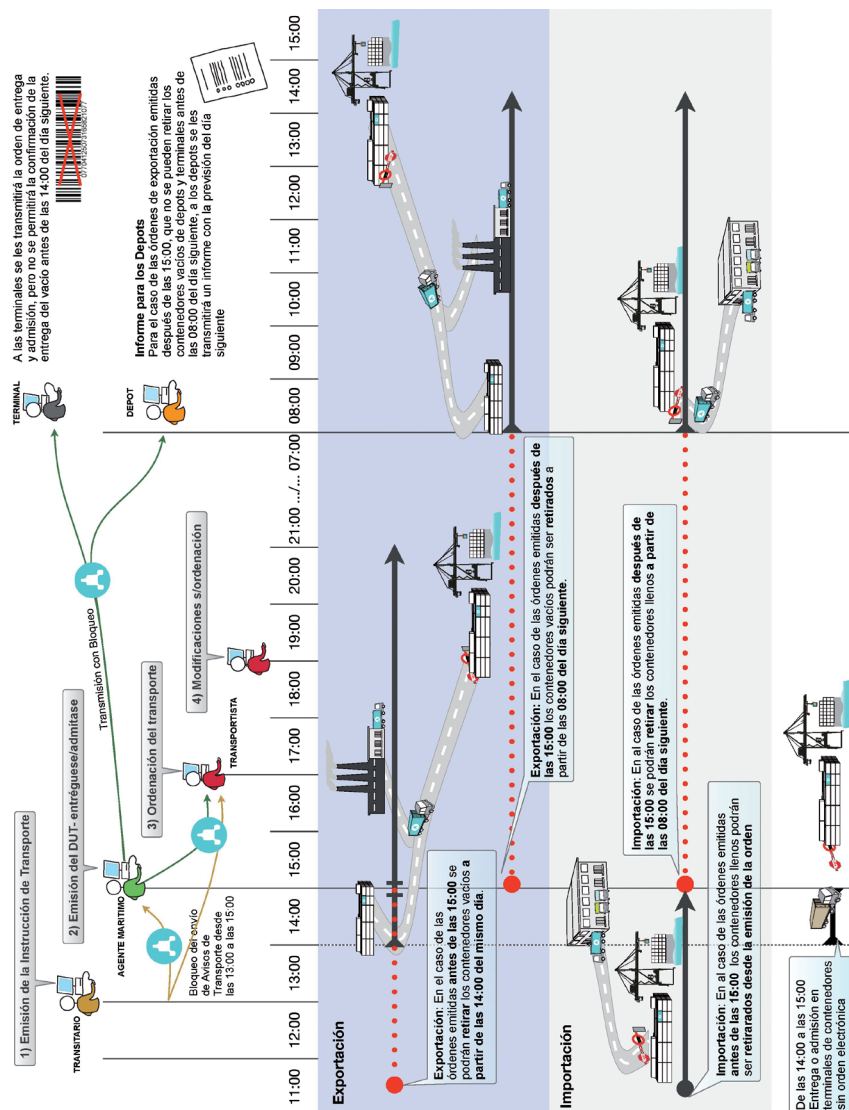
Para implantar el *Closing Time* hace falta una herramienta informática que conecte a los usuarios y sea capaz de distribuir la información de forma adecuada y segura. En este sentido, los Sistemas de Información Comunitaria (SICs) permiten a los agentes involucrados (agente marítimo, operador logístico, transportista terrestre, empresa estibadora, *depot*) en la organización y realización del transporte terrestre de mercancías, la generación y gestión de los documentos de transporte (orden de transporte, admítase o entréguese) necesarios para la realización de dicho transporte, así como las notificaciones de entrega y admisión del contenedor en las terminales y *depots* de contenedores de forma que toda la información sobre el transporte terrestre se tramita electrónicamente, sin necesidad de presentación de la documentación en papel.

Aunque el más extendido es el *Closing Time* Marítimo (CTM) que regula la lista de carga del buque, algunos puertos han decidido implantar el *closing time* en actividades de recepción y entrega de mercancías, llamándolo *Closing Time* Terrestre (CTT).

En el caso particular del Puerto de Valencia, mientras que el CTT regula la recogida de los contenedores vacíos (para su posterior exportación) de la terminal o del *depot* y la de los llenos de importación, el CTM regula la entrada de los contenedores de exportación ya llenos. Así pues, tanto uno como otro establecen las horas límite para la presentación de la documentación, la transmisión de datos y la recogida o entrega de los contenedores de la terminal o del *depot*. El CTT establece los límites en función del día de recepción y entrega (Figura 151), y el CTM los establece en función del día de inicio de las operaciones de carga del buque (Figura 152).



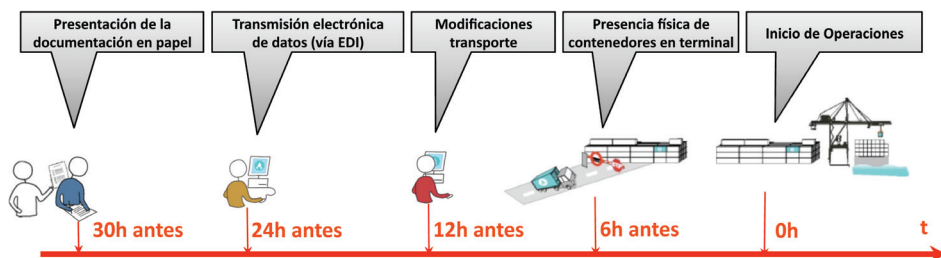
Figura 151. Ejemplo de funcionamiento del Closing Time Terrestre en el Puerto de Valencia



Fuente: Autoridad Portuaria de Valencia



Figura 152. Ejemplo de funcionamiento del *Closing Time* Marítimo en el Puerto de Valencia



Fuente: Fundación Valenciaport en base a información de la Autoridad Portuaria de Valencia

Tanto el CTM como el CTT se han implantado a través del portal valenciaportpcs.net para las terminales de contenedores, logrando una notable disminución o incluso eliminación de las colas en las puertas de las mismas, contribuyendo a su vez a reducir el consumo de combustible de los camiones externos y consecuentemente las emisiones de gases contaminantes y los niveles de ruido en el entorno portuario.

Los límites horarios más destacado del CTT (Figura 151) son:

- **Exportación:** para órdenes emitidas antes de las 15 h, se podrán retirar los contenedores vacíos de los depots y terminales a partir de las 14 h del mismo día. Para órdenes emitidas después de las 15 h, se podrán retirar los contenedores vacíos de los depots a partir de las 8 h del día siguiente y de las terminales a partir de las 14 h del día siguiente.
- **Importación:** para órdenes emitidas antes de las 15 h, se podrán retirar los contenedores llenos de la terminal inmediatamente desde su emisión. Para órdenes emitidas después de las 15 h, los contenedores llenos se podrán retirar de la terminal a partir de las 8 h del día siguiente.
- **Sin procedimiento CTT:** para las órdenes no emitidas por el procedimiento de CTT con transmisión electrónica, la entrega o admisión de contenedores en terminal queda reducida a la ventana de 14 a 15 h.

Resumiendo, aplicando el CTT el Puerto de Valencia pretende que la recogida de contenedores de importación se concentre entre las 8 y las 15 h, la recogida de vacíos para exportación entre las 14 y las 21 h, y el resto operaciones con órdenes emitidas después

de las 15 h al día siguiente desde las 8 h o desde las 14 h para recoger contenedores vacíos de la terminal.

Por su parte, los límites más destacados del CTM (Figura 20) son:

- Pueden transmitirse órdenes de modo electrónico hasta 24 h antes del comienzo de las operaciones de carga de buque.
- Se podrán modificar las órdenes electrónicamente (cambio de conductor, matrícula de camión, etc.) 12 h antes del inicio de las operaciones de carga de buque.
- El contenedor deberá estar en la terminal 6 h antes del comienzo de las operaciones.
- Las órdenes presentadas en papel solo se admitirán hasta 30 h antes del comienzo de operaciones de carga de buque.

### 9.2.1.2.2. Cita Previa

El objetivo principal que se persigue con la implantación de los sistemas de Cita Previa es permitir a las terminales de contenedores laminar el flujo de camiones externos que van a acudir a las mismas evitando las horas punta y valle, es decir, distribuirlo de forma equilibrada y predeterminada a lo largo del día, y de esa manera conocer con antelación la carga de trabajo que tendrán en cada uno de los tramos horarios. Con ello se pretende conseguir una planificación óptima en las operaciones de entrega y recepción de contenedores, tanto por parte de los transportistas, que pueden planificar sus citas para los momentos con menor tráfico, como por parte de la terminal que puede gestionar mejor la asignación de sus equipos para cada operativa y proporcionar los recursos suficientes para satisfacer la demanda en cada momento.

El procedimiento se basa en la determinación de un sistema de *slots* (ventanas horarias) por parte de la terminal de contenedores, en su propia página web o en el sistema de información comunitario (SIC) del puerto, en el cual se fijan los horarios, duración y capacidad de admisión de citas previas en cada uno de los *slots*. Adicionalmente y de manera asociada a cada *slot* se determina el momento a partir del cual se pueden realizar las solicitudes así como el momento de cierre a partir del que no se aceptan más solicitudes de cita previa.

Para la utilización de este sistema, el transportista u otro agente, de acuerdo con las órdenes recibidas de su cliente, debe solicitar a la terminal —mediante su servicio electróni-

co de página web o SIC del puerto— una cita previa, por vehículo y operación, en cualquiera de los tramos horarios definidos (*slots*), mediante la especificación de la fecha y hora estimada en la que se va a efectuar la operación de recepción o entrega. Posteriormente la terminal confirma la reserva de *slot* al transportista indicando el tramo horario en que estará vigente o notifica que la reserva no ha podido efectuarse con éxito debido a que el tramo horario en el que se solicita la cita se encuentra completo, debiendo en este caso el transportista elegir otro tramo horario para realizar su operación.

Esta medida es muy efectiva en terminales donde existe un gran volumen de tráfico de origen o destino en el *hinterland*. En la actualidad puertos como el de Singapur o el de Los Ángeles han implementado sistemas de Cita Previa con slots muy ajustados con los que pretenden ayudar a sus terminales en la gestión del gran volumen de tráfico terrestre al que atienden y reducir las colas de camiones a la entrada de las mismas.

#### **9.2.1.3. Global Position System (GPS)**

Con el fin de mejorar y facilitar la planificación a las terminales y a los operadores intermodales, hoy en día se están desarrollando proyectos para monitorizar mediante GPS las mercancías antes de llegar a una terminal, y así conocer el orden exacto y los horarios reales de llegada de las mismas. De esta manera la terminal puede asignar y optimizar los equipos destinados a la recepción y la entrega.

Se trata de una herramienta complementaria al sistema de citas en puertas que además permite que la terminal sepa si existe un problema en la ruta que impide a la mercancía llegar a la hora estipulada.

Un ejemplo de este sistema es la prueba que ha realizado Alberta Safefreight Technology para el puerto de Tacoma, instalando GPS en los contenedores transportados por ferrocarril, que rastrea los contenedores intermodales desde el momento que dejan las terminales portuarias hasta que llegan a sus destinos, permitiendo conocer la ruta y los percances en la misma (Port Technology International, diciembre 2008). Este tipo de proyectos proporciona una solución que ayuda a las terminales a optimizar la gestión y la seguridad de la cadena de suministro intermodal para sus clientes, además de apoyar en la planificación junto con otros agentes (como la naviera y las empresas de ferrocarril), a que el puerto sea un nodo de tránsito eficiente y con rapidez en la prestación de sus servicios.

Este sistema de seguimiento de flotas utiliza tecnologías GPS, de comunicaciones inalámbricas y de internet (web basada en un *software* de gestión de flotas) para proporcionar los datos relacionados con la ubicación, velocidad, arranques, paradas y demás parámetros de la ruta de la mercancía. Incluso se han desarrollado aplicaciones para *smartphones*, que pueden ser utilizados como dispositivos de GPS y herramientas de localización, que reciben y envían mensajes de modificación de la hora de la llegada del contenedor a la terminal.



*Lo que conduce y arrastra al mundo no  
son las máquinas, sino las ideas.*

Víctor Hugo, poeta, dramaturgo  
y escritor



MOBILE CRANE HANDLING CONTAINER TRAFFIC









## Subsistema de interconexión

El subsistema de transporte horizontal o de interconexión es el subsistema de conexión entre los demás subsistemas como su nombre indica, por ejemplo entre el muelle y el patio, y entre este y las zonas de recepción y entrega. El principal objetivo de este subsistema es realizar el traslado de modo rápido, seguro y eficiente.

La tipología del equipamiento de patio determina el tipo de equipos de transporte horizontal a emplear en cada una de las actividades que se pueden realizar en este subsistema (Tabla 15), que son:

- Traslado de contenedores entre muelle y patio (operativa de carga y descarga);
- Traslado de contenedores entre el patio y la zona de recepción y entrega de camiones (operativa de recepción y entrega por carretera);
- Traslado de contenedores entre el patio y el ferrocarril (operativa de recepción y entrega por ferrocarril); y
- Otros movimientos como el *housekeeping* (organización del patio para facilitar la carga o descarga de buques), el posicionamiento para inspección, etc.

Tabla 15. Equipo de interconexión para cada movimiento de interconexión según el tipo de equipamiento de patio

EQUIPO DE PATIO					OTROS MOVIMIENTOS
	Muelle ↔ Patio	Patio ↔ R/E Camiones	Patio ↔ R/E Ferrocarril		
CARRETILLAS	T+P o Carretillas	Carretillas	Carretillas	Carretillas y/o T+P	
SCs	SC	SC	Carretillas	SC o Carretillas	
RTG	T+P	RTG	RTG, T+P y carretillas	Carretillas o T+P	
RMG	T+P o Shuttle carrier	RMG	RMG y T+P o T+P y carretillas	Carretillas y/o T+P	
ASC	AGV o Shuttle carrier o T+P	ASC	SC o T+P y carretillas	Carretillas	

T+P: sistema de tractor más plataforma

R/E: Recepción y entrega

Fuente: Fundación Valenciaport



La interconexión entre el muelle y el patio se puede realizar con la combinación de tractor más plataforma (T+P), en el caso de que en el patio se utilicen pórticos; con las mismas máquinas que se utilizan para el almacenamiento si las terminales son de carretillas, *reachstackers* o *straddle carriers*; y con AGVs, mini SCs o incluso T+P en terminales que en el patio utilizan pórticos automáticos ASCs o RMGs automatizados. En el caso de que las distancias entre muelle y patio sean muy grandes, las terminales de carretillas o de SCs también suelen utilizar el sistema de tractor más plataforma, aunque también pueden utilizarse los mini SCs, diseñados para realizar la interconexión.

En cualquier caso, como se deduce de la Tabla 15, algunos de los equipos que realizan las tareas de interconexión también pueden utilizarse como equipos de almacenamiento en patio o de recepción y entrega, como los SCs, las carretillas o los *reachstackers*. En este capítulo solo se mencionan las innovaciones tecnológicas de los mismos referidas a la interconexión, el resto se pueden ver en el Capítulo 8. Además se profundiza en las innovaciones tecnológicas de equipos que se dedican exclusivamente a la interconexión, como los AGVs, mini SCs, etc. y en la descripción de innovaciones de gestión referidas a este subsistema.

## 10.1. Innovaciones tecnológicas

Dentro de los equipos que se dedican fundamentalmente a las labores de interconexión, se puede distinguir entre equipos manuales, como las cabezas tractoras con plataforma, los *reachstackers* y los mini SCs, y equipos automáticos, como los AGVs y los mini SCs automatizados.

El primer sistema de AGVs apareció en 1955 para el transporte horizontal de materiales, adaptándose para el uso en terminales de contenedores casi cuarenta años después, en 1993 en el puerto de Rotterdam, específicamente en la terminal Delta Sea Land, explotada por Europe Container Terminals. Durante muchos años esta innovación se extendió tímidamente, pero en los últimos años, dentro del proceso de mejora continua en las tecnologías que emplean muchas terminales, se ha configurado como una potente alternativa al sistema más habitual de tractor más plataforma (Monfort *et al.*, 2011a).

### 10.1.1. *Reachstackers*

Además de las mejoras e innovaciones introducidas en estos equipos mencionadas en el Capítulo 8, existen algunas relativas fundamentalmente a su función como equipo de interconexión. Es el caso de la conexión entre el ferrocarril y el patio en muchas

terminales, donde además el *reachstacker* se encarga de la recepción y entrega de los contenedores (Figura 153).

Figura 153. *Reachstacker* del fabricante Hyster



Fuente: Hyster Company

#### **10.1.1.1. Mejora del rendimiento operacional**

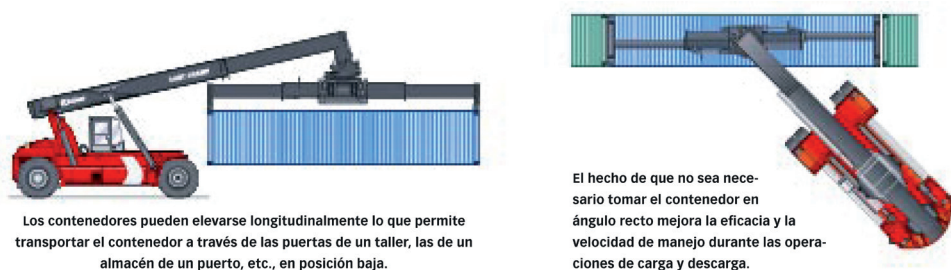
##### 10.1.1.1.1. Aumento de la velocidad y la flexibilidad de operación

Con relación a la velocidad de los movimientos, los fabricantes han estado trabajando para aumentar la velocidad de elevación y descenso de la carga sin que esto altere la estabilidad y la seguridad del equipo. Como ejemplo los RSs de la marca Hyster tienen una velocidad media de 0,28 m/s en elevación con carga y hasta de 0,50 m/s sin carga.

Otra innovación que persigue mejorar la versatilidad de los *reachstackers* es la presentada por Kalmar (Cargotec Corporation), que consiste en la incorporación de un sistema de rotación que permite girar el *spreader* dotándole de mayor flexibilidad en las operaciones ya que el contenedor puede ser capturado con un ángulo de aproximación inferior a 90°,

lo que reduce considerablemente la anchura mínima de los pasillos para la circulación de los equipos (Figura 154). Una ventaja adicional es que los contenedores pueden ser transportados e izados en paralelo a la dirección de avance del equipo, lo que permite que esta maquinaria pueda ser empleada para entregar contenedores en las puertas de almacenes. Otros fabricantes, como Liebherr, también tienen equipos con este sistema.

Figura 154. *Reachstacker* Kalmar con sistema de giro del *spreader*



Fuente: Cargotec Corporation

#### 10.1.1.1.2. Monitorización a bordo

La mejora del rendimiento de los *reachstackers* también es posible gracias a la incorporación de interfaces de gestión y comunicación que permiten la monitorización y el control a bordo y a distancia, del funcionamiento del motor, la dirección y la transmisión del equipo mediante la utilización de la tecnología CAN Bus. Este sistema, incorporado a los RSs de las empresas Linde, CVS Ferrari, Konecranes y Kalmar (Cargotec Corporation) permite conocer en tiempo real y de forma continua el estado de los equipos y por lo tanto generar respuestas proactivas que mejoran su rendimiento y su vida útil.

#### **10.1.2. Sistema de tractor y plataforma (T+P)**

Este medio de transporte de contenedores dentro de la terminal es el más sencillo de todos. Consiste en una cabeza tractora (T) que arrastra una plataforma (P) sobre la que se depositan uno o dos contenedores, llenos o vacíos (Figura 155).

Esta solución se utiliza en muchas terminales del mundo, tanto pequeñas como grandes. Las cabezas tractoras son capaces de moverse con relativa rapidez en el patio de modo sencillo, flexible y seguro, y son el mejor sistema para largos recorridos; por otra parte, además de un menor coste de adquisición, su uso en terminales con largas distancias ahorra combustible y tiempo respecto a otros vehículos, como carretillas elevadoras, *reachstackers* y SCs, debido al menor peso y mayor velocidad del equipo.

Figura 155. Cabeza tractora y plataforma



Fuente: Fundación Valenciaport

En general las cabezas tractoras se impulsan mediante motores de combustión diésel. Las últimas innovaciones en el ámbito de la reducción del consumo y del impacto ambiental son los equipamientos que utilizan tecnología híbrida, gas natural licuado o comprimido, y la utilización de biodiésel. También se están desarrollando cabezas tractoras con motores eléctricos.

### 10.1.2.1. Mejora del rendimiento operacional

#### 10.1.2.1.1. Plataforma multicarga

Un modo de aumentar el rendimiento del sistema es el transporte simultáneo de varios contenedores. Normalmente las plataformas de cualquier terminal pueden trasladar dos contenedores llenos de 20 pies, pero las mejoras introducidas en este sentido se refieren, por una parte, al apilado a doble altura en una única plataforma para poder transportar hasta 4 contenedores de 20 pies (Figura 156), y por otra, a la utilización de sistemas multi-tráiler en los que una única cabeza tractora remolca varias plataformas.

Figura 156. Plataformas de apilado a doble altura



Fuente: Buisar Cargo Solutions BV

A finales de los años 70, el operador ECT en colaboración con el fabricante de equipos Buisar y la Universidad de Delft desarrollaron el sistema denominado *Multi Trailer System* (MTS). Dicho sistema consiste en enganchar varias plataformas a una misma cabeza tractora, a modo de convoy, mejorando el rendimiento del sistema de transporte entre muelle y patio, ya que con un solo conductor y una sola cabeza tractora se pueden transportar varios contenedores simultáneamente (Figura 157). Desde hace unos años otras empresas han empezado a fabricar los componentes del sistema o a utilizarlos en sus terminales.



Figura 157. Sistema Multi-Tráiler de Buisear con cabeza tractora Terberg



Fuente: Terberg Benschop BV

El hecho de que ECT todavía emplee este sistema en sus terminales, incluso en las nuevas, confirma que se trata de un sistema fiable y rentable. Existen dos tipos de trenes, el largo y el corto. El tipo largo consiste en utilizar una cabeza tractora para remolcar entre cuatro y siete plataformas, de modo que se pueden trasladar hasta 14 TEUs (2 por plataforma). Un equipo así, con 5 plataformas para un máximo de 10 TEUs, fue el que empezó utilizando ECT para el transporte de contenedores en tránsito tanto dentro de una terminal como entre sus terminales del puerto de Rotterdam. El tipo corto se utilizó por primera vez en la terminal Eurokai en el puerto de Hamburgo. El fabricante Gaussin desarrolló un MTS corto, con una cabeza tractora, un semiremolque de un solo eje y dos plataformas de dos ejes.

El sistema multi-tráiler incorpora tres características respecto a los trenes de carretera que facilitan su maniobrabilidad y operatividad. La primera es que las plataformas siguen la trayectoria marcada por la cabeza tractora gracias a un sistema de ruedas autodi-

reccionables. Este elemento representa una gran ventaja cuando se está trabajando en un área limitada, los recorridos que se efectúan tienen muchas curvas y hace falta cierta precisión para colocar los contenedores debajo de las grúas o al costado de las pilas. La segunda característica es la secuencia de frenado ordenada de las plataformas. Cuando el conjunto frena, lo hace primero la última plataforma y la fuerza se va transmitiendo sucesivamente a las plataformas anteriores y por último a la cabeza tractora. Esto permite que las plataformas sigan alineadas, gracias al efecto tirante que se da. Si la secuencia de frenada fuera la inversa sería fácil que las últimas plataformas se salieran del trazado marcado por la cabeza tractora, sobre todo en frenadas en curva, o que se produjeran choques entre las plataformas. Por último, la tercera característica es que el conductor controla la conexión de las plataformas desde la cabina: ni la conexión física para la transmisión del movimiento, ni las conexiones eléctrica o neumática para las luces o la frenada requieren que el conductor baje de la cabina, mejorando asimismo la seguridad.

En cuanto al rendimiento, el sistema multi-tráiler mejora los resultados conseguidos con el sistema de cabeza tractora más plataforma. No obstante la ventaja no es directamente proporcional al número de TEUs que transporta el multi-tráiler: la operativa con trenes de cinco plataformas no tiene un coste de la quinta parte de la operativa con camiones con una única plataforma. Obviamente aparecen otros factores que alteran esa relación. Por un lado, es necesario emplear más plataformas en el caso del sistema multi-tráiler que en el sistema convencional. Suponiendo una operación de carga y descarga de un buque con una sola grúa, podría hacerse una operativa adecuada con 5 camiones (el número depende, entre otros factores, de la distancia a recorrer o del rendimiento de la grúa). Sin embargo, con el sistema multi-tráiler será necesario disponer al menos de dos trenes, ya que mientras uno está sirviendo a la grúa, el otro estará en el patio. Trabajando con dos trenes, en algún momento del ciclo o la grúa de muelle o las de patio están paradas esperando que llegue el convoy. Así para que la operativa funcione con fluidez harían falta al menos tres trenes.

Por lo tanto, se trata de un sistema recomendable si hay varias grúas trabajando en muelle, lo que permite que los multi-tráiler sirvan a varias grúas (ver *pooling* en apartado 10.2.1.1), optimizando las distancias que tienen que recorrer en el patio.

También hay que tener en cuenta que los trenes de varias plataformas de largo necesitan más espacio para maniobrar, tanto en las calles del patio como en el muelle. Y pese a que



se optimicen los recorridos, algunos giros serán inevitables y el coste en infraestructura por contenedor manipulado será mayor; bien porque la terminal necesita más superficie o bien porque el área de almacenamiento se reduce debido a que es necesario tener viales más grandes o disponer de zonas de giro.

La cuestión de la superficie adicional que necesita este sistema influyó de forma decisiva en que PSA decidiera no implantarlo en la terminal Tanjong Pagar en el Puerto de Singapur y se decantase finalmente por utilizar una sola plataforma reforzada y con guías para transportar cuatro contenedores de 20 pies en dos alturas (Figura 158).

Figura 158. Plataforma de dos alturas en Tanjong Pagar Container Terminal. Puerto de Singapur



Fuente: PSA Singapore

Hay que tener en cuenta que un medio de transporte resulta productivo cuando va cargado. En el caso de cabeza tractora más plataforma, se puede suponer que la mitad del tiempo de trabajo va cargado. En cambio, con un tren de plataformas ese porcentaje de tiempo se reduce ya que para cargarlo por completo es necesario recorrer cierta distancia en el patio (en el caso de que se trate de una operación de carga del buque) o, si se está en operación de descarga, el tren empezará a estar infrautilizado cuando se deposite el primer contenedor en la pila correspondiente. Esta pérdida de eficiencia es menor cuanto mayor es la distancia que ha de recorrer el tren entre el patio y el muelle o entre terminales. Es por ello que su utilización se recomienda para distancias superiores a 250 metros.

También se pueden optimizar los recorridos apilando los contenedores en el patio de forma que toda la carga o descarga esté tan concentrada como sea posible. Queda claro que un buen aprovechamiento de este tipo de equipos requiere un sistema operativo avanza-

do. Es necesario conocer en tiempo real la posición de cada contenedor en patio, puesto que las ubicaciones determinarán las trayectorias a seguir por los trenes. Esas posiciones deben asignarse siguiendo unos criterios que permitan que el tren se mueva por el patio en trayectorias lo más cortas y productivas posibles, es decir, transportando carga. Además hay que tener en cuenta los recorridos para minimizar los giros. Para que este sistema aporte unos buenos resultados son imprescindibles las comunicaciones en tiempo real y un buen algoritmo de asignación de tareas (ver apartado 10.2.1.3 sobre optimización).

Una de las últimas terminales en adquirir este tipo de plataformas multi-tráiler es Manila International Container Terminal del operador global International Container Terminal Services Inc. (ICTSI). En 2012 la terminal ha adquirido 16 multi-tráilers de Houcon Holland con cabezas tractoras MAFI, con capacidad para transportar simultáneamente 3 contenedores de 40' o 6 de 20' (Port Technology International, mayo 2012b).

Los fabricantes de plataformas más importantes, simples o para el sistema multi-tráiler, por cuota de mercado son Buisson Cargo Solutions, CIMC Group, Magnum Trailer & Equipment, MAFI Transport-Systeme, Seacom Trailer Systems, Dutch Lanka Trailers Manufacturers, Gaussin Manugistique, Novatech, Busby International, Fabrisem y Houcon Group.

#### 10.1.2.1.2. Plataformas autocargantes

Si el equipo de interconexión son cabezas tractoras más plataformas un problema que existe durante la operativa de carga y descarga es que tanto las grúas de muelle como las de patio si son RTGs, RMGs o ASCs, necesitan que la plataforma esté posicionada para recoger o depositar el contenedor correspondiente, por lo que los retrasos en los equipos de interconexión afectan directamente a la productividad de las grúas, especialmente a las de muelle, disminuyendo la productividad del atraque. Es decir, con este sistema la actividad de las grúas de muelle y las de patio están acopladas a la de los equipos de transporte interno, y entre sí a través de ellos.

Para dar una solución que permita desacoplar las operaciones de las grúas de la actividad de los equipos de interconexión (ver el concepto de *decoupling* en el apartado 10.2.1.2), la empresa TTS Port Equipment AB ha desarrollado a partir del diseño de las plataformas de los transportes ro-ro, un sistema que denomina *translifter*, que está formado por una cabeza tractora universal con una plataforma autocargante, y un *cassette*, que no es más que un marco metálico sobre el que se dejan los contenedores a la espera de que los

recoja la cabeza tractora con la plataforma.

Este conjunto, con una capacidad para 62 toneladas, eleva y traslada los *cassettes* con los contenedores mediante un sistema hidráulico, pudiendo transportar dos contenedores de 20' en *twin*, o dos contenedores de 40' uno encima del otro (Figura 159). El funcionamiento es el siguiente: una grúa deposita un contenedor sobre el *cassette* que descansa en el suelo; la cabeza tractora con la plataforma autocargante se coloca delante del contenedor y marcha atrás introduce la plataforma debajo del *cassette* (opcionalmente se puede instalar una cámara trasera para facilitar la maniobra); en ese momento el conductor acciona el sistema hidráulico y la plataforma eleva el *cassette* con el contenedor encima; la cabeza tractora traslada el conjunto de plataforma, *cassette* y contenedor hasta la posición de entrega; y una vez allí el operador vuelve a accionar el sistema hidráulico para hacer descender el *cassette* y dejarlo en el suelo; una vez hecho, la cabeza tractora con la plataforma autocargante puede reiniciar el ciclo con otro *cassette*-contenedor sin esperar ni hacer que espere ninguna grúa ni otro medio de descarga.

Figura 159. Sistema de plataforma autocargante de TTS



Fuente: TTS Port Equipment AB

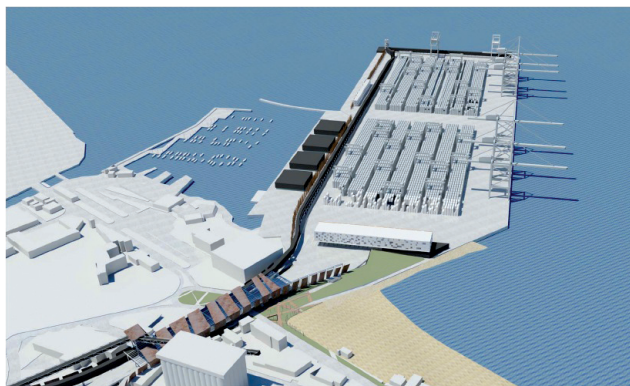
Este sistema de *cassette* con plataformas autocargantes puede utilizarse para la recepción y entrega de ferrocarril, es decir para la interconexión entre el ferrocarril y el patio, preferentemente con patio automatizado o al menos patio en el que se entreguen los contenedores en las cabeceras de las pilas.

Adicionalmente, como se detalla en el apartado 10.1.3.1.2 el sistema de *cassettes* es una alternativa que permite desacoplar el funcionamiento de grúas y vehículos de transporte interno cuando se utilizan equipos automáticos como los AGVs.

La terminal de APMT en Portsmouth (Virginia, EE.UU.) operada por la Autoridad Portuaria de Virginia a través de VIT, utiliza desde 2007 este sistema de plataformas autocargantes con *cassettes* para el transporte interno entre la zona del ferrocarril (con RTGs para la carga y descarga del mismo) y el patio de almacenamiento (de RMGs automatizados), con tan buen resultado que en el primer trimestre de 2011 encargó 200 *cassettes* y 10 *translifters* más.

La nueva terminal de APM Terminals en el Puerto de Savona (Italia) prevista para entrar en funcionamiento en 2015, pretende dar un paso más allá, utilizando el sistema *translifter* de TTS para la conexión del muelle (con 6 grúas STS) y su patio automatizado con RMGs en bloques paralelos al muelle y cabezas tractoras con plataformas autocargantes (WorldCargo News, abril 2011). La terminal tendrá un muelle de 700 metros, una superficie de 19 ha y una capacidad prevista de 900.000 TEU (Figura 160).

Figura 160. Proyecto de APMT Vado Ligure (Puerto de Savona – Italia)



Fuente: APM Terminals Management B.V.

### **10.1.2.2. Contribución a la sostenibilidad ambiental**

La preocupación social por la sostenibilidad ambiental, ha impulsado a los usuarios de cabezas tractoras a demandar equipos menos contaminantes, que consuman menos y que sean más eficientes, manteniendo tanto la productividad como un precio ajustado.

Por ello se han fijado estándares de emisiones para vehículos de transporte por carretera con motores de combustión interna que limitan las emisiones permitidas, y que también afectan a los equipos de interconexión de las terminales.

A nivel europeo una serie de directivas regula los niveles permitidos de emisiones de gases tóxicos como NO<sub>x</sub>, hidrocarburos, CO y partículas en suspensión para vehículos nuevos vendidos en cualquier estado miembro de la UE. Dichas directivas no son de obligado cumplimiento para los vehículos ya en funcionamiento. Tampoco existe obligatoriedad de cumplir con ningún límite de emisiones de CO<sub>2</sub>, solo existe un acuerdo voluntario entre los fabricantes de equipos y la UE. Euromot IV es el último estándar para maquinaria móvil *nonroad* en la UE. Entra en vigor entre el final de 2013 y el final de septiembre de 2014 según la potencia de los motores.

En EE.UU. existen compromisos de cumplimiento obligatorio respecto a las emisiones, reguladas a nivel nacional por la *Environmental Protection Agency* (EPA), que va marcando por periodos de años los estándares de emisiones que tienen que cumplir los vehículos y que también afecta a vehículos en funcionamiento. El último es el Tier 4 y su fase de aplicación es de 2008 a 2015 (DieselNet).

Esto provoca que los fabricantes de cabezas tractoras busquen alternativas y mejoras en los equipos tradicionales con motor diésel para poder cumplir los estándares de emisión obligatorios y hacerlas más eficientes, sin que el precio final por contenedor movido se incremente para que siga siendo un sistema de transporte interesante para las terminales.

#### **10.1.2.2.1. Cabezas tractoras diésel**

Las cabezas tractoras con motor diésel fueron las primeras en aparecer y su uso es el más extendido por lo que el grado de madurez de este mercado es muy elevado y los precios de los equipos están muy ajustados.

Tienen el inconveniente de ser equipos que contaminan más que otras alternativas propulsadas con combustibles o energías no derivadas del petróleo. Por ello los fabricantes de estos equipos diésel están introduciendo innovaciones para reducir el consumo energético al máximo, lo que provoca conjuntamente la disminución de las emisiones de gases.

En este sentido a principios de los 90s se creó Euromot, Asociación Europea de Fabricantes de Motores de Combustión Interna (*European Association of Internal Combustion Engine Manufacturers*), que trata de representar y dirigir a dichos fabricantes ante los requisitos de las organizaciones regulatorias europeas y del resto del mundo, y que ha creado unas fases (*stages*) en las que limita las emisiones contaminantes en función de la potencia del motor y fija la entrada en vigor de estos requisitos (Tabla 16).

Tabla 16. Límites de emisiones para motores de combustión interna en la Fase IIIB de Euromot

Categoría	Potencia neta P (kW)	Monóxido de Carbono (CO) (g/kWh)	Hidrocarburos y Óxidos de Nitrógeno (HC+NO <sub>x</sub> ) (g/kWh)	Partículas en suspensión (PM) (g/kWh)	Entrada en vigor
L	$130 \leq P < 560$	3,5	0,19 2,0	0,025	31/12/2010
M	$75 \leq P < 130$	5,0	0,19 3,3	0,025	31/12/2011
N	$56 \leq P < 75$	5,0	0,19 3,3	0,025	31/12/2011
P	$37 \leq P < 56$	5,0	4,7	0,025	31/12/2012

Fuente: Euromot

Así pues, fabricantes como Terberg, MAFI, Kalmar –del grupo Cargotec– y otros, incorporan en sus equipos motores de compañías como Mercedes o Cummins que cumplen con los últimos estándares Euromot 3B (Tier 4i), los cuales reducen la emisión de partículas notablemente respecto los anteriores motores Euromot 3A (Port Strategy, agosto 2011).

El fabricante Terberg ha introducido en sus equipos un paquete diseñado por el fabricante de la transmisión Allison, que contiene un programa de cambio mediante el cual el motor cambia de marcha de manera más eficiente además de ofrecer menor resistencia al ralentí, lo que reduce el consumo de diésel.

Por su parte, Ottawa Trucks –del grupo Cargotec– ha desarrollado una nueva tecnología llamada “MaxiMizer” incorporada desde principios de 2012 a todas las cabezas tractoras diésel que fabrica. Dicha tecnología reduce las revoluciones del motor, tiene una transmisión mejorada y un sistema que detecta la carga y permite elegir la marcha. Además permite integrar los sistemas de control electrónicos del motor y de la transmisión. Así se consiguen ahorros de combustible de hasta el 15%, lo que les permite estar certificados para el cumplimiento de los requisitos de la EPA.

En línea con la reducción de emisiones, la Autoridad Portuaria de Georgia (GPA) encargó un estudio para determinar si el uso de aditivos en los motores diésel era eficaz para aumentar la eficiencia de estos motores y de reducir las emisiones de gases contaminantes. Mediante pruebas con 64 RTGs y 40 cabezas tractoras en el Puerto de Savannah, obtuvieron un ahorro de un 5% de consumo de combustible y un descenso en la emisión de partículas en suspensión de más del 71%, con un descenso de alrededor del 20% en  $\text{NO}_x$  y CO. El estudio no obtuvo resultados concluyentes respecto a la reducción de  $\text{SO}_2$  gracias al aditivo ya que desde 2008 la GPA cambió los motores diésel por motores diésel con ultra baja emisión de sulfuros, lo que en su momento supuso una reducción de emisiones del 99% (Port Strategy, agosto 2010b).

#### 10.1.2.2.2. Cabezas tractoras de gas natural

Una alternativa a los tradicionales motores diésel que utilizan las cabezas tractoras es el uso de gas natural como combustible para su propulsión. Existen diversos fabricantes que ofrecen sus cabezas tractoras propulsadas bien con gas natural licuado (GNL, LNG–*Liquefied Natural Gas*) o comprimido (GNC, CNG–*Compressed Natural Gas*).

Las ventajas de los motores de gas natural sobre los diésel son que emiten menor cantidad de  $\text{CO}_2$  y óxido nítrico, son más silenciosos y que el gas natural es más barato que el diésel. Además países como Estados Unidos incentivan el uso del gas natural para aliviar la fuerte dependencia que tienen respecto a los combustibles derivados del petróleo.

Estos motores consiguen unas potencias similares a las de los motores diésel. En cuanto a la autonomía, como ejemplo los vehículos Freightliner –grupo Daimler– equipados con *Daimler CleanDrive Technologies*, pueden alcanzar una autonomía de hasta 700 kilómetros en función de su uso.



La organización CALSTART, que reúne a más de 140 firmas dedicadas a apoyar el crecimiento de la tecnología y la industria del transporte limpio, realizó un informe en 2008 para el Puerto de Long Beach (POLB) en el que analizaba la implantación de cabezas tractoras de GNL frente a las tradicionales de diésel, destacando las siguientes conclusiones:

- Los equipos de GNL demuestran un rendimiento similar a los diésel, a pesar de que la maduración del motor de GNL es mucho menor que la del diésel.  
NOTA: El motor Cummins Westport de 2005 de los equipos analizados en el estudio de POLB ya no se comercializa, y ha sido reemplazado por otros motores más avanzados.
- Las cabezas tractoras de GNL tuvieron una aceptación positiva entre los conductores y los mecánicos de mantenimiento.
- Las emisiones de NO<sub>x</sub> fueron un 21% más altas en los motores GNL que en los diésel, aunque según el informe esto pudo deberse a que los tractores de GNL llevaran mayores cargas, lo que incrementa la temperatura del motor generando más NO<sub>x</sub>. Otra posible explicación se deriva del uso de los catalizadores y filtros antipartículas que llevan los motores diésel. En cualquier caso, el motor Cummins de GNL de 2006 tiene un certificado de nivel emisiones de NO<sub>x</sub> de 1,8 g/bhp-hr frente a los 3 g/bhp-hr del motor diésel (Neandross y Kawano, 2006).  
NOTA: g/bhp-hr (*grams/brakehorsepower-hour*) es la cantidad de emisiones en gramos de un motor por hora y caballo de potencia sin contar las pérdidas por la caja de cambios, alternador, diferencial, etc.
- Las emisiones de partículas en suspensión no se midieron, asumiendo que son significativamente menores en los motores de GNL, tal y como se midió en los test realizados en el Puerto de Los Ángeles (POLA), donde se obtuvieron resultados de emisiones de partículas en suspensión 15 veces menores en motores de GNL frente a los diésel (Neandross y Kawano, 2006).
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> en las cabezas tractoras de GNL fueron un 18% menores que en los motores diésel.
- En ausencia de incentivos de las administraciones para la compra de vehículos, y considerando una relación entre el precio del litro del diésel respecto al de GNL de 5,2

veces mayor (vigente en EE.UU. en el momento del informe), los costes estimados para el ciclo de vida de cabezas tractoras GNL son similares a los diésel, excluyendo los costes derivados de la infraestructura para el repostaje de GNL, aunque también se pueden utilizar camiones cisterna que reducirían dicha inversión.

- Los tractores de GNL generan menos ruido y menos vibraciones por lo que son más cómodos para los conductores: el 67% de los conductores consideró que a nivel global eran mejor los tractores de GNL que los diésel.

A pesar de la numerosa presencia de programas, políticas, planes y regulaciones para incentivar y procurar el uso de energías menos contaminantes, a corto plazo no parecen suficientes para estimular significativamente la demanda de cabezas tractoras propulsadas con GNL. En 2012 empresas como Terberg y Kalmar (Cargotec Corporation) fabrican cabezas tractoras de GNL y GNC.

La primera terminal de contenedores en el mundo en disponer de tractores de GNL fue Long Beach Container Terminal, a la que le fueron entregados 3 de estos equipos en octubre de 2005. Hoy en día estos equipos se utilizan en terminales de Los Ángeles y Long Beach.

Yantian International Container Terminals (YICT) es el primer operador de contenedores que está utilizando en China cabezas tractoras propulsadas con GNL. En junio de 2012 tenía 141 de estos equipos, que comparados con vehículos diésel de la misma potencia, consiguen una reducción del 82% de partículas en suspensión (Hutchison Port Holdings, 2011).

En definitiva, parece que el sistema de cabezas tractoras de gas natural licuado o comprimido va abriéndose camino poco a poco, sobre todo en terminales de EE.UU., aunque en otros países también empieza a utilizarse ya que consigue rendimientos y funcionamientos análogos e incluso mejores que el sistema diésel con costes similares.

#### 10.1.2.2.3. Cabezas tractoras híbridas

##### **Motor Diésel - Eléctrico**

La compañía Capacity of Texas ha desarrollado una cabeza tractora híbrida llamada PHETT (*Pluggable Hybrid Electric Terminal Tractor*, Figura 161) que utiliza un motor diésel de 40 CV junto con uno eléctrico de corriente alterna de 225 CV. Con dicho equipo se obtiene una reducción media del 50% en el consumo de combustible, una reducción

de emisiones de  $\text{NO}_x$  del 77%, de partículas en suspensión del 82%, y del nivel de ruido en modo normal del 30%, mientras que en modo eléctrico no produce ninguna emisión de gases. Adicionalmente el equipo incorpora un sistema de recarga a bordo por recuperación de la energía de frenado (North Carolina Ports, 2009).

El mayor inconveniente de este equipamiento es su mayor coste de adquisición respecto de los tradicionales, aunque esta mayor inversión se recupera antes de los 8 años (Capacity of Texas), ya que al disminuir el consumo de combustible (hasta en un 60% según el fabricante), el coste operacional es significativamente menor.

Figura 161. Cabeza tractora híbrida con sistema PHETT



Fuente: North Carolina State Ports Authority

Esta cabeza tractora híbrida se probó en 2009 en la terminal del Puerto de Long Beach de Ports America.

Esta misma empresa Capacity of Texas, tiene planes para fabricar la primera cabeza tractora propulsada por células de combustible de hidrógeno llamada ZETT (*Zero Emissions Terminal Tractor*).

### **Motor Diésel - Hidráulico**

En noviembre de 2010, Cargotec en colaboración con Singapore Technologies Kinetics (ST Kinetics) y su subsidiaria Kinetics Drive Solutions, fue la primera empresa en lanzar una cabeza tractora híbrida diésel-hidráulica (Figura 162). Se trata de un vehículo equipado con un sistema paralelo que simultáneamente transmite energía desde dos fuentes, un motor principal diésel y un motor secundario hidráulico (Port Strategy, noviembre 2011). Con esta cabeza tractora se consigue un ahorro de combustible del 20%, así como una importante reducción de la emisión de óxidos nitrosos y partículas en suspensión (GreenBigTruck.com).

Figura 162. Cabeza tractora híbrida hidráulica Kalmar del grupo Cargotec



Fuente: Cargotec Corporation

La empresa americana Crane Carrier Company también comercializa un modelo de cabeza tractora híbrida hidráulica, con el se ahorra entre un 20 y un 30% de combustible, y se reducen las emisiones de CO, NO<sub>2</sub> y partículas en más de un 70%.

El funcionamiento de ambos equipos es similar y se pueden identificar por en las siguientes partes: sistema de regeneración de energía y sistema de asistencia de energía.

El sistema de regeneración actúa durante el frenado de modo que la energía cinética del vehículo hace funcionar el motor como una bomba, transfiriendo el fluido hidráulico desde un depósito de baja presión a un acumulador de alta presión. El fluido comprime el gas (nitrógeno) en el acumulador y presuriza el sistema. El sistema de Crane Carrier Company asegura que su sistema de recuperación de energía de frenado captura un 70% de la energía cinética producida durante el frenado.

El sistema de asistencia de energía se activa en el momento de la aceleración del vehículo, de modo que el fluido del acumulador de alta presión se dosifica poco a poco haciendo funcionar la bomba como un motor y el sistema impulsa el vehículo mediante la transmisión de par al eje de transmisión. El sistema de asistencia entrega la energía acumulada en el momento de la aceleración, aunque esta aceleración puede hacerse bien con la energía acumulada en el sistema hidráulico, con lo que se ahorra combustible, o bien simultáneamente con el motor diésel y el sistema hidráulico, con lo que se mejora la productividad. Una vez agotada toda la energía del acumulador de alta presión, el vehículo funcionará exclusivamente con el motor diésel, por ello este tipo de tecnología es especialmente adecuada para equipos que realizan muchas paradas y arrancadas, como las cabezas tractoras para terminales de contenedores.

En resumen, las ventajas de los motores híbridos hidráulicos son que reducen el consumo de combustible, las emisiones de gases, el desgaste del motor, el ruido al disminuir la velocidad del motor en las aceleraciones y alargan la vida del sistema de frenado (hasta 4 veces).

Cargotec Corporation, bajo sus marcas (Hiab, Kalmar y MacGregor) ha vendido estos equipos a terminales de Singapur pero están especialmente dirigidos al mercado estadounidense.

### **Automotive Terminal Trailer**

La empresa Gaussin Manugistique en noviembre de 2009 lanzó un nuevo concepto de plataforma para contenedores “todo en uno” llamado *Automotive Terminal Trailer* (ATT), en el que cabina y plataforma forman un conjunto indivisible, con solo dos ejes de ruedas, cuya innovación principal es que tiene un módulo de propulsión y energía extraíble (*Power Pack*) alojado en el centro de la plataforma, el cual suministra la energía y propulsa el conjunto con un sistema de motorización híbrido diésel-hidráulico (WorldCargo News, marzo 2010).

El *Power Pack* es un módulo que permite la puesta en marcha y el funcionamiento del equipo. En su interior cuenta con un motor diésel, una bomba hidráulica, baterías y diversos sistemas complementarios como los de eliminación de gases, refrigeración y encendido/apagado (*Start & Stop*), entre otros.

Según el fabricante, este módulo permite cambiar el motor diésel por motores de otras tecnologías como el de gas. Además la estructura abierta donde se aloja el *Power Pack* facilita la refrigeración del motor y especialmente la adaptación del sistema mediante tanques de aditivos para cumplir los estándares Tier 4 Fase 3B obligatorios desde 2010. Gaussin está desarrollando un *Power Pack* totalmente eléctrico que podrá montar en su última versión de ATT a partir de 2013 (Ship 2 Shore, agosto 2011).

Existen tres versiones diferentes de *Power Pack* que van desde casi los 200 kW hasta los más de 250 kW de potencia. La sustitución del módulo es una operación muy sencilla –se tarda menos de 20 minutos– lo que permite cambiar la capacidad de un vehículo con mucha facilidad y realizar el mantenimiento sin inmovilizar el vehículo sustituyendo su *Power Pack* por otro.

La plataforma, formada por tres piezas, tiene una longitud de 45 pies con unas guías y protecciones laterales en la estructura que permiten la orientación y colocación del contenedor con la suficiente resistencia para soportar los impactos laterales y los deslizamientos de la carga. Además permite la manipulación manual de los *twistlocks* sin necesidad de elevar el contenedor de la plataforma. La carga máxima admitida es de 60 toneladas con una velocidad máxima cargada o descargada de 25 km/h, y está diseñada para un millón de ciclos. Puede manipular contenedores en *twin*, en *tandem* y hasta con *triple spreader*, gracias al sistema *Linkmode* que facilita el alineamiento de varios vehículos, y trabajar con *straddle carriers*, *reachstackers* y carretillas frontales.

Con todo esto, según Gaussin, los beneficios del ATT respecto a las cabezas tractoras tradicionales diésel son:

- Reducción del consumo de combustible entre un 30 y un 50%.
- Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Reducción de la vibración y el ruido en cabina (máximo 60 dB) al tener el motor lejos del conductor.
- Visibilidad de 360° en cabina.
- Gran maniobrabilidad gracias a que la cabina puede girar sin necesidad de mover la plataforma.
- Dispone de control remoto por el que el conductor puede mover el ATT desde el suelo.
- Dispone de 4 sistemas de frenado que aumentan la seguridad.
- Disponibilidad del vehículo el 99% del tiempo ya que no es necesario inmovilizarlo para efectuar el mantenimiento.
- Disminución del mantenimiento hasta en un 70%, reduciendo además el número de componentes que tiene y por tanto las piezas en stock que se deben almacenar para reparaciones.
- Sencillez en el mantenimiento por la facilidad de acceso y manipulación que ofrece el módulo, por lo que tiene unos costes bajos.
- Chasis ensamblado en tres piezas que le proporciona mayor durabilidad, resistencia a golpes y aumento de la resistencia a la fatiga.
- Gracias a que es desmontable se puede transportar dentro de un contenedor.
- Aumento de la vida útil del vehículo entre un 30 y un 50%.

#### 10.1.2.2.4. Cabezas tractoras eléctricas

Para eliminar totalmente las emisiones de gases contaminantes es necesario sustituir los motores diésel por vehículos con motor eléctrico –o utilizar la tecnología de células de hidrógeno, mucho menos desarrollada–.

El fabricante Balqon es pionero en cabezas tractoras que funcionan con motor eléctrico (Figura 163). En 2007 participó en un proyecto piloto (*Electric Truck Demonstration Project*) promovido por el Puerto de Los Ángeles (POLA) y el *South Coast Air Quality Management District* (SCAQMD) para usar cabezas tractoras eléctricas para transportar los contenedores desde el puerto hasta los almacenes locales y el patio del ferrocarril (Balqon Corporation, 2012).



Figura 163. Cabeza tractora eléctrica de Balqon



Fuente: Balqon Corporation

Este primer prototipo alcanzó una velocidad máxima de 64 km/h y tenía una autonomía de 97 km con la plataforma en vacío y de 48 km con la máxima carga. Para recargar su batería de ión de litio requería de un cargador que le permitía hacer una carga rápida en una hora (alcanzado una carga del 60%), y una carga completa en 3 o 4 horas. Según el referido proyecto piloto, los costes de funcionamiento estimados de la cabeza tractora eléctrica eran más de 4 veces inferiores a los de un tractor diésel. Estos cálculos estaban realizados teniendo en cuenta ciclos de trabajo con 100% de ocupación, pero como lo normal es que los vehículos estén un 50% del tiempo moviéndose y la otra mitad parados, los costes operativos de la cabeza tractora diésel se incrementan y en comparación los equipos eléctricos tienen un coste de funcionamiento hasta 9 veces menor.

Actualmente este fabricante dispone de 2 modelos de cabezas tractoras para terminales de contenedores. Ambos utilizan un motor eléctrico de 230 voltios de inducción de corriente alterna que produce una potencia de 200 CV. Disponen de caja de cambios automática con 4 o 5 velocidades. La batería de litio-ferrofosfato (LiFePO<sub>4</sub>) tiene un peso aproximado de 3 toneladas y una vida útil de 5 años. La cabeza está equipada con un sistema hidráulico que permite cambiar las baterías en un tiempo de 3 minutos. Sus principales características están resumidas en la Tabla 17.

Tabla 17. Características de las cabezas tractoras eléctricas de Balqon

Característica	Nautilus XE20	Nautilus XE30
Potencia del motor (voltios/CV)	230 / 200	230 / 200
Cambio (velocidades)	4	5
Velocidad máxima (km/h)	40	72
Autonomía sin carga (mi)	145	-
Autonomía con máxima carga (mi)	97	-
Carga de batería (kWhr/voltios)	215 / 312	250 / 300
Carga 100% batería (horas)	6,5	6,5
Carga rápida hasta nivel 3 (80%) (horas)	2,5	2,5
Vida batería (ciclos)	3.000 (hasta 80%)	3.000 (hasta 80%) 5.000 (hasta 70%)
Capacidad de carga (toneladas)	30	30

Fuente: Balqon Corporation

El cargador estándar es de 40 kW y la carga dura entre 6 y 8 horas, aunque también hay disponible un cargador rápido de 80 kW capaz de recargar varias baterías simultáneamente y que recarga el 60% de la capacidad total en una hora.

En mayo de 2011 el fabricante anunció el lanzamiento del modelo XR E20, una versión actualizada del XE20, que aumenta la autonomía en un 75% respecto al primero, permitiendo a las terminales operar con este nuevo equipo durante 16 horas —más de 240 km— sin necesidad de recarga.

Las principales ventajas de este equipo son de tipo medioambiental y económico. En el aspecto medioambiental, al contar con un motor eléctrico no genera emisiones de CO<sub>2</sub> ni de ningún otro tipo, y además el ruido producido es prácticamente nulo. En el ámbito económico, aunque su coste de adquisición es mayor, presenta ventajas a largo plazo. Según el propio fabricante, aunque el coste de adquisición es prácticamente el doble del de una cabeza tractora diésel convencional de similares características, el ahorro durante 10 años en combustible y mantenimiento puede superar en dos veces el precio de adquisición del equipo eléctrico.

En 2009 Balqon entregó 14 unidades de su modelo XE20 equipadas con baterías de ácido de plomo al POLA, pero su baja autonomía les llevó a desarrollar las baterías de litio que solucionaron este problema. Durante la segunda mitad de 2011 y principios de 2012 realizaron pruebas con las nuevas baterías consiguiendo autonomías de hasta 12 y 14 horas, que son las que finalmente están utilizando en POLA.

En 2011 Balqon se asoció con la empresa europea de cabezas tractoras MOL Transport Solutions para adaptar el modelo XR E20 al mercado europeo. En esta cabeza tractora el sistema de conducción eléctrica de Balqon se monta sobre un chasis de MOL (Figura 164). Tiene unos costes operativos un 74% más bajos que un equipo diésel de similares características.

Figura 164. Versión europea de cabeza tractora eléctrica de Balqon-MOL



Fuente: Balqon Corporation

La implantación de estos equipos no supone cambios significativos en la terminal. Sólo se deben adquirir estaciones para recargar las baterías.

Como conclusión respecto al uso de los equipos eléctricos de interconexión que buscan la reducción de consumos, emisiones y ruidos, el principal inconveniente es su alto coste de adquisición respecto los equipos diésel convencionales. Probablemente por el marco legal y por los incentivos que otorga la administración, el uso de equipos eléctricos, híbridos y de gas natural licuado o comprimido, es más frecuente en terminales de EE.UU. que en terminales del resto del mundo, pero es previsible que con el crecimiento y los avances que está teniendo la industria de almacenamiento de energía, los costes de las baterías de estos equipos “más limpios” se vayan reduciendo paulatinamente, lo que facilitará su implantación en puertos de otras regiones.

Las referencias a los costes relativos de la operativa con cabezas tractoras diésel y eléctricas depende de la relación entre el precio del diésel y el de la electricidad.

### **10.1.3. Automated Guided Vehicle (AGV)**

Los AGVs (*Automated Guided Vehicle*) son vehículos automatizados y por tanto funcionan sin operador. Se encargan de trasladar los contenedores entre el muelle y el patio. Básicamente se trata de plataformas, sin cabina ni cabeza tractora.

En el caso del transporte de muelle a patio, la grúa de muelle coloca el contenedor sobre el AGV, que previamente se ha situado en la posición adecuada. Una vez cargado el contenedor, el vehículo se traslada hasta el patio, donde el ASC recoge el contenedor y lo ubica en el lugar que se le ha asignado en el patio de almacenamiento. Cuando el AGV ha sido liberado del contenedor, puede iniciar la siguiente tarea.

Los AGVs se controlan mediante un sistema informático que asigna y transmite las órdenes a los vehículos y a los medios de manipulación, tratando de minimizar el tiempo que se encuentran inactivos, optimizando su uso.

Existen varios sistemas de guiado para los AGVs. Muchos han evolucionado a partir de los usados en fábricas o almacenes, pero no todos estos se pueden adaptar a las condiciones de una terminal de contenedores (Port Strategy, octubre 2011a). Por ello se han buscado soluciones adecuadas para condiciones atmosféricas extremas en ambientes

industriales. Aparecen algunos problemas de fiabilidad cuando se usan sistemas magnéticos u ópticos para el guiado, ya que su rendimiento se ve afectado por la suciedad, la nieve, la humedad e incluso el crecimiento de la maleza o las variaciones de luz extremas.

Por estas razones los transpondedores parecen la mejor opción para el sistema de guiado de vehículos automáticos en puertos. Este sistema determina la posición exacta de cada vehículo con un conjunto de transpondedores enterrados a unos 20 cm de la superficie. Cada AGV dispone de sensores y un microprocesador capaz de calcular su posición exacta dentro de la terminal. Los primeros AGVs tenían una precisión de  $\pm 50$  mm, que era posible reducir hasta  $\pm 30$  mm utilizando un sistema complementario de cables enterrados (Monfort *et al.*, 2001). Los actuales AGVs, dotados del sistema de navegación Navimatic, presentan una precisión de  $\pm 25$  mm. A pesar de todo, el sistema de transpondedores tiene ligeros problemas causados principalmente por las interferencias que emiten algunos equipos de la terminal alrededor de los 60 kHz que pueden interrumpir las señales del sensor. Este inconveniente puede solucionarse cambiando o compensando la banda de frecuencia del transpondedor.

Para evitar las colisiones entre los vehículos, los AGVs están dotados de un escáner láser capaz de detectar la presencia de obstáculos, que aminora la marcha del vehículo, llegando incluso a detenerlo en caso de que sea necesario. También están dotados de un sistema de ultrasonidos capaz de detectar objetos en un radio de 10 metros. Por último, disponen de un parachoques flexible, que activa los frenos del vehículo en caso de chocar con algún obstáculo, siendo capaz de detener el vehículo dentro de la zona de deformación de los parachoques en caso de que se circule a velocidades bajas.

La adopción de AGVs como equipamiento del sistema de interconexión tiene la ventaja de poder trabajar en condiciones de mala visibilidad como viento, lluvia, sol, niebla, etc., y facilitar la implantación de innovaciones de gestión como el *pooling* de plataformas, mucho más difícil de realizar con el sistema de cabezas tractoras y plataformas.

La terminal de ECT Delta Sea-Land del Puerto de Rotterdam fue la primera terminal, en julio de 1993, en utilizar AGVs. Posteriormente el sistema se ha introducido en otras terminales del puerto de Rotterdam y en el año 2002 en la terminal HHLA CTA del Puerto de Hamburgo (Figura 165).

Figura 165. AGVs en HHLA CTA (Puerto de Hamburgo – Alemania)



Fuente: Hamburger Hafen und Logistik AG

#### 10.1.3.1 Mejora del rendimiento operacional

Los primeros modelos de AGV lanzados por Gottwald Port Technology GmbH (AGVs convencionales), no pueden desacoplar su funcionamiento del de las grúas de muelle o de patio, es decir, las grúas solo pueden entregar o recoger el contenedor cuando el AGV está en posición bajo su *spreader*, lo que en algunos momentos puede suponer que las grúas tengan que esperar al vehículo.

Para solucionar la referida problemática, tanto Gottwald como TTS Port Equipment AB idearon sendos sistemas para desacoplar el funcionamiento de las grúas de muelle y patio del de los AGVs. Cada sistema tiene sus particularidades como se detalla en los siguientes apartados. El sistema de Gottwald se denomina *Lift AGV* (L-AGV, apartado 10.1.3.1.1), mientras que el de TTS se denomina *Cassette AGV* (C-AGV, apartado 10.1.3.1.2).



#### 10.1.3.1.1. *Lift AGV*

La empresa Gottwald ha creado el vehículo *Lift AGV* (L-AGV), una mejora de los AGVs convencionales que incorpora dos plataformas elevadoras eléctricas que permiten elevar el contenedor y depositarlo automáticamente en su posición junto a la pila de almacenamiento; y también recoger el contenedor de la zona de almacenamiento y trasladarlo hasta el muelle.

La forma de dejar los contenedores es la que se puede ver en la Figura 166: el vehículo cargado deposita el contenedor en una estructura metálica (*storage rack*) que hace las funciones de almacenamiento temporal hasta que el ASC recoge el contenedor para depositarlo en su ubicación definitiva en el patio. El mismo proceso realizado de forma inversa es el utilizado para llevar los contenedores desde el patio al muelle. En el muelle, el AGV debe esperar a que la grúa le descargue el contenedor.

Estos AGVs son capaces de cargar un contenedor de hasta 45 pies o 2 contenedores de 20 pies y elevarlos de forma independiente. El resto de características técnicas y velocidades máximas se mantienen prácticamente igual respecto al AGV convencional híbrido diésel-eléctrico de Gottwald que se ve en el apartado 10.1.3.2 (Tabla 18).

Figura 166. Esquema de la operación del *Lift AGV* en el patio de almacenamiento



Fuente: Gottwald Port Technology GmbH (200-?b)



Así pues, el sistema de L-AGVs más las estructuras metálicas permiten desacoplar (*decoupling*) las operaciones entre el transporte horizontal y las grúas de patio (ASCs) durante la operativa de carga y descarga de buque. Este *decoupling* también es viable en las operaciones de recepción y entrega en ferrocarril. En cambio, el funcionamiento de las grúas de muelle sigue estando vinculado al de los L-AGVs pues la colocación de estas estructuras metálicas en la zona del muelle bajo las grúas es inviable, ya que no podrían tener una posición fija, pues su ubicación debería cambiar en función de la posición de las bodegas de cada buque, y habría que estar continuamente reajustando la posición de las estructuras. Además entorpecerían el tránsito de los L-AGVs ya que habría que colocarlas en zonas de paso, con lo que el movimiento de estos sería más lento, lo que reduciría el rendimiento de la operativa de carga y descarga de buque.

La nueva terminal de contenedores automatizada de APM Terminals Maasvlakte II en Rotterdam será la primera en el mundo en estar equipada con los L-AGVs de Gottwald. La construcción de la terminal empieza en junio de 2012, y en una primera fase contará con una flota de 36 L-AGVs en combinación con 128 estructuras metálicas (*storage racks*). La terminal tiene previsto entrar en servicio en noviembre de 2014, aunque los primeros L-AGVs se entregarán en el primer trimestre de 2013 para hacer los test de integración con el resto de equipos de la terminal. Fuentes de la terminal estiman que con este sistema la terminal conseguirá mejorar su productividad entre un 25 y un 50% respecto a un diseño convencional (Port Technology International, marzo 2012). Estos vehículos estarán dotados de un motor híbrido diésel-eléctrico con un bajo nivel de emisiones de gases, al igual que los AGVs convencionales del mismo fabricante.

#### 10.1.3.1.2. Cassette AGV

El *cassette* AGV (C-AGV) de TTS Port Equipment dispone de una plataforma que se eleva y es capaz de cargar el contenedor junto con el *cassette* (Figura 167).

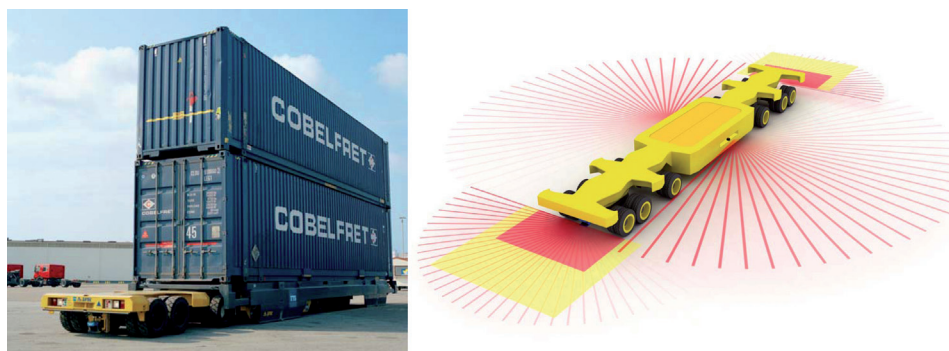
Estos *cassettes* son estructuras metálicas donde se deposita el contenedor, similares a las plataformas autocargantes de TTS descritas en el apartado 10.1.2.1.1 y de hecho el funcionamiento es básicamente el mismo, con la diferencia de que en el caso de los C-AGV las operaciones son automáticas.

En el transporte de contenedores desde el muelle al patio, los C-AGVs dejan los *cassettes* vacíos bajo la grúa de muelle, que los carga con contenedores directamente descargados

del buque, el C-AGV, que es más bajo que el *cassette*, se sitúa debajo de este y se eleva, levantando consigo el *cassette* y los contenedores y trasladándolos hasta el patio. Una vez allí, desciende hasta que el *cassette* se apoya en el suelo, quedando libre para realizar la siguiente operación. Es exactamente la misma operativa que con las plataformas auto-cargantes, pero con la gran ventaja, además de la automatización, de que el C-AGV puede girar todas sus ruedas, lo que le permite moverse tanto en dirección longitudinal como transversal, lo que facilita notablemente la operación de colocarse o salir de debajo de los *cassettes*.

Los C-AGVs tienen una capacidad de carga de 61 toneladas, mientras que el *cassette* puede cargar 2 contenedores de 40' uno encima del otro o incluso 4 de 20' vacíos.

Figura 167. *Cassette* AGV de TTS Port Equipment



Fuente: TTS Port Equipment AB

La mayor ventaja de este sistema respecto al AGV convencional es que es capaz de cargar y descargar contenedores de forma autónoma, es decir su funcionamiento puede desacoplarse de las grúas de patio y de muelle, mientras que un AGV convencional necesita que otro equipo le coloque o retire el contenedor.

Respecto al L-AGV de Gottwald, el C-AGV presenta la ventaja de que es capaz desacoplar sus operaciones tanto en patio como en muelle, mientras que el L-AGV solo lo hace en patio. Por el contrario el C-AGV presenta el inconveniente de que muchas veces necesita mover *cassettes* vacíos, lo que añade más complejidad a la operativa de carga y descarga de buques y necesita recorrer mayores distancias, pero en cualquier caso con un conjunto de reglas bien definidas, este sistema puede ser muy efectivo (Port Strategy, octubre 2011b).

### 10.1.3.2. Contribución a la sostenibilidad ambiental

#### 10.1.3.2.1. AGVs con motor híbrido

Los primeros AGVs se comercializaron por Gottwald Port Technology en 1993. Estaban dotados de un motor diésel-hidráulico. En el año 2006, gracias a un acuerdo de colaboración entre Gottwald y el operador de terminales Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA), se lanzó una nueva generación de AGVs dotados de un motor híbrido diésel-eléctrico. Estos vehículos son considerablemente menos ruidosos que sus predecesores, además de reducir el consumo en un 25% así como la emisión de gases contaminantes, con la contribución al medio ambiente que ello supone. VDL Containersystemen bv es otro fabricante que también ofrece AGVs híbridos. Las características de algunos de estos AGVs híbridos son las siguientes (Tabla 18):

Tabla 18. Características de los AGV híbridos de Gottwald y VDL

Características técnicas	Gottwald	VDL
Motor	257 kW	257 kW Stage 3b / 4
Precisión (mm)	± 25	± 25
Capacidad del depósito (l)	1.400	1.250
Consumo (l/h)	8 aprox. (10 aprox. *)	4,8
Ruido	-	81 dB
<b>Tipos de contenedores</b>		
1 ud	20', 40', 45' y opcionalmente 30'	20', 30', 40', 45'
2 ud	20'	20'
<b>Capacidad de carga</b>		
Cargado con un contenedor (t)	40	70
Cargado con dos contenedores de 20' (t)	60	70
<b>Dimensiones</b>		
Largo (m)	14,8	14,7
Ancho (m)	3,0	3,1
Altura (m)	1,7 (2,2*)	1,7
Peso muerto (t)	25 (34*)	26
Neumáticos	18.00 R25	-

Velocidades		
En línea recta (km/h)	21,6	21,6
En curva (km/h)	10,8	10,8
Marcha atrás (km/h)	3,6	-
Aceleración (m/s <sup>2</sup> )	-	0,5

\* Diferencia de datos para el L-AGV (ver apartado 10.1.3.1)

Fuente: Gottwald Port Technology GmbH (200-?b y 200-?c) y VDL Containersystemen bv (200-?)

Desde finales de 2011 Gottwald está sustituyendo los AGVs de primera generación de la terminal ECT en Rotterdam por los nuevos modelos equipados con motor híbrido diésel-eléctrico con sistema de ahorro de combustible y que cumplen el estándar europeo de emisión de gases EuroMot 3B (Port Strategy, septiembre 2011 y Port Technology International, junio 2012).

En 2012 han entrado en servicio los AGV diésel-híbridos en ECT Euromax Terminal desarrollados y fabricados por la compañía VDL Containersystemen (Port Technology, 2012b). Con ello la terminal pretende reducir el consumo de combustible y los costes de mantenimiento.

Estos AGVs están dotados de un pequeño motor diésel que impulsa un generador que alimenta los motores eléctricos. Cuando son necesarios picos de potencia, la energía adicional necesaria es suministrada por ultracapacitores. El fabricante VDL proporciona estos equipos con distintas soluciones para su propulsión, como la propulsión híbrida, por inducción o con hidrógeno. Además, este modelo está diseñado de forma modular para permitir la implementación de mejoras, como por ejemplo la sustitución de la propulsión híbrida diésel-eléctrica por la de hidrógeno sin demasiado impacto.

#### 10.1.3.2.2. AGVs eléctricos

La última tendencia en cuanto a los sistemas de propulsión de los AGVs es el motor completamente eléctrico, y en ese sentido las empresas Gottwald Port Technology y TTS Port Equipment AB han desarrollado sus modelos de AGV *Zero Emissions*.

HHLA y Gottwald concluyeron en diciembre de 2011 su proyecto piloto de implantación de AGV *ZeroCO<sub>2</sub> Emissions* que comenzó con un primer prototipo lanzado en 2009.

Las pruebas comenzaron en mayo de 2011 con dos AGVs eléctricos (*Battery AGV*) operando en la terminal HHLA CTA del Puerto de Hamburgo (Figura 168). Estos dos *Battery AGVs* transportaron contenedores entre muelle y patio y viceversa junto con el resto de 84 AGVs de la terminal (55 diésel-hidráulicos y 29 diésel-eléctricos).

Figura 168. *Battery AGV* de Gottwald en HHLA CTA (Puerto de Hamburgo – Alemania)



Fuente: Hamburger Hafen und Logistik AG

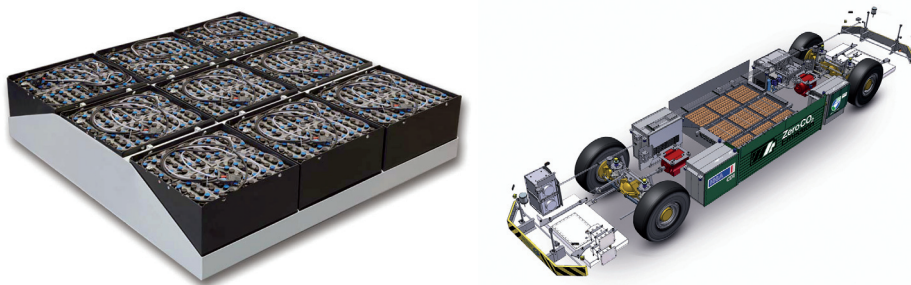
Con este *Battery AGV* la emisión de gases es nula y los ruidos se reducen al mínimo sin pérdida de rendimiento.

El *Battery AGV* está propulsado por un conjunto de celdas de baterías de plomo situadas en el centro del vehículo con un peso de unas 11 toneladas y una capacidad de 335 kWh (ver detalle en Figura 169). Cuando las baterías se agotan se reemplazan automáticamente en una estación de cambio de baterías en unos 5 minutos. Una vez retiradas las baterías agotadas se conectan al sistema de recarga. En el caso de HHLA CTA, se utiliza energía eléctrica de fuentes renovables. Dependiendo de las condiciones de las operaciones, la autonomía del *Battery AGV* puede llegar a las 17 horas.

Gracias a algunos ajustes, durante las pruebas se redujeron en un 25% las previsiones iniciales de consumo de energía, alcanzando unos niveles de consumo finales muy bajos y una gran autonomía debido principalmente a que este motor eléctrico es el doble de eficiente que el híbrido diésel-eléctrico de los AGVs del propio fabricante.

Gottwald utiliza baterías de plomo estándar de alto rendimiento, por ser reciclables y no requerir equipo adicional de refrigeración o monitorización. Además, las baterías de plomo tienen un precio muy competitivo.

Figura 169. Detalle de componentes y baterías de plomo del *Battery AGV* de Gottwald



Fuente: Gottwald Port Technology GmbH y Hamburger Hafen und Logistik AG

El concepto de *Battery AGV* será aplicable en el futuro a los nuevos *Lift AGV*, que también serán equipos de “cero emisiones de CO<sub>2</sub>”.

Por su parte TTS junto con la empresa Numexia SA desarrolló a finales de 2008 su propio prototipo de *cassette AGV* eléctrico con una eficiencia energética óptima y cero emisiones (TTS Port Equipment AB, 2008) (Figura 170).



Figura 170. Prototipo de C-AGV propulsado por inducción eléctrica de TTS y Numexia

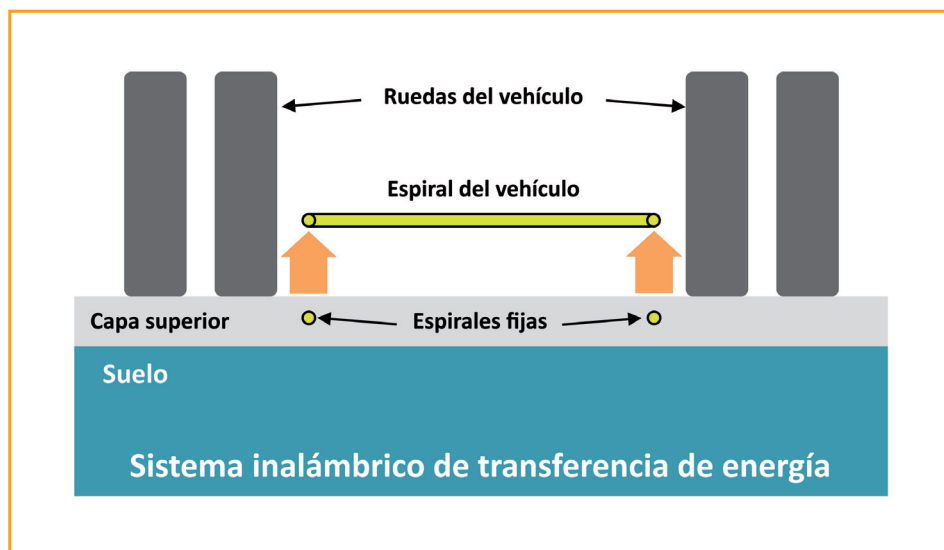


Fuente: Av Skipsrevyen (mayo 2009)

La peculiaridad de este sistema es que el C-AGV de TTS toma la energía eléctrica del suelo de la terminal sin que exista contacto, mediante un sistema de inducción eléctrica. Este sistema consiste en la instalación de espirales electromagnéticas en la capa superior del pavimento del muelle y patio. La energía se transfiere desde las espirales enterradas en el suelo a otras espirales situadas en el vehículo (Figura 171), y este almacena la energía mediante un sistema de súper capacitores. Según Numexia, su tecnología ofrece una alta eficiencia energética, alta capacidad de potencia, un bajo campo electromagnético, así como seguridad y fiabilidad.



Figura 171. Sistema de transferencia inalámbrica de energía



Fuente: Fundación Valenciaport adaptado de TTS Port Equipment AB

Con la energía almacenada, el vehículo es capaz de desplazarse a plena carga y a velocidad máxima una distancia de 600 metros y elevar la plataforma con los dos motores de 9 kW que dispone para ello. Cada vez que el vehículo llega a muelle o a patio (en las zonas de transferencia de los contenedores), se produce la transferencia de energía recargándose de nuevo los súper capacitores.

#### 10.1.4. Mini *straddle carriers*

El mini *straddle carrier* es un SC capaz de alcanzar I+I alturas o incluso sólo I+0, por lo que no está diseñado para almacenar contenedores en patio, y únicamente puede emplearse como equipo del subsistema de interconexión (Figura 172). Dependiendo del fabricante se le da diversos nombres comerciales: *shuttle carrier*, *sprinter carrier*, *boxrunner*, *raptor*, etc.

Figura 172. Mini SC de Konecranes Boxrunner



Fuente: Konecranes Ausió S.L.U.

En el fondo los mini SCs son más parecidos en su funcionamiento a los L-AGVs o C-AGVs que a los propios SCs convencionales, ya que son vehículos de interconexión que permiten desacoplar las operaciones de las grúas del transporte horizontal.

Además también existen mini SCs automatizados, con lo que su funcionamiento es prácticamente igual al de los L-AGVs o C-AGVs, salvo que no necesitan ningún tipo de estructura auxiliar de la que recoger el contenedor, es decir lo pueden coger y dejar directamente en el pavimento.

Por otra parte los mini SCs son más anchos que los AGVs y no tienen tanta facilidad para maniobrar, por lo que hay que tener en cuenta que necesitan más espacio para realizar los giros y dejar los contenedores en la cabecera de la pila.

Sus principales ventajas respecto a los SCs convencionales a la hora de realizar movimientos de transporte horizontal son su agilidad, seguridad y su reducido coste.

Como los mini SCs no pueden apilar, trabajan con un equipo de almacenamiento en patio, que frecuentemente son ASCs, ya que incluso con funcionamiento manual el mini SC es un tipo de equipo que puede usarse en terminales donde la transferencia de contenedores entre muelle y patio se realiza en las cabeceras de las pilas, como en las terminales de ASCs.

Estos equipos pueden cargar un contenedor de 20' o 2 contenedores de 20' en *twin* o incluso 2 contenedores de 40' en *tandem* (como el *raptor senior*, prototipo de Fantuzzi, Figura 173) (Port Strategy, julio 2009). En la Tabla 5 se comparan las características técnicas de algunos de estos equipos de los fabricantes Kalmar (Cargotec Corporation), Noell y Konecranes.

Figura 173. Mini SCs de Fantuzzi. *Raptor senior* y *raptor junior*



Fuente: Fantuzzi Reggiane (Grupo Terex)

Tabla 19. Características técnicas de los mini SCs

	<i>Shuttle Carrier</i> de Kalmar	<i>Sprinter Carrier</i> de Noell	<i>Boxrunner</i> de Konecranes
Capacidad de carga	50 t en modo <i>twin</i> y 40 t en modo simple	50 t en modo <i>twin</i> y 40 t en modo simple (60 t excepcionalmente)	50 t en modo <i>twin</i> y 40 t en modo simple
Velocidad máxima de desplazamiento	35 km / h	32 km / h (en vacío) 28 km / h (con carga nominal)	30 km / h (en vacío) 26 km / h (con carga)
Velocidad de izado	20 m / min (en vacío) 13 m / min (con 40 t) 9 m / min (con 50 t)	20 m / min	24 m / min (en vacío) 20 m / min (con 40 t) 18 m / min (con 50 t)
Velocidad máxima de descenso	18 m / min	18 m / min	22 m / min (en vacío) 18 m / min (con carga)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Cargotec Corporation, Noell Mobile Systems GmbH y Konecranes

Fantuzzi ha desarrollado un mini SC *—raptor—*, en dos versiones *senior* y *junior*. La primera será capaz de manipular 2 contenedores de 40 o 45 pies o 4 de 20 pies, mientras que la segunda podrá manipular 2 de 20 pies o uno de 40 pies. El vehículo no utiliza *spreader*, sino que tiene un sistema hidráulico que permite subir y bajar la parte superior del equipo para enganchar o desenganchar el contenedor de forma automática, y con mayor velocidad gracias a no tener que accionar sistemas eléctricos ni hidráulicos para el cierre o apertura de los *twistlocks*.

La empresa TTS Port Equipment AB tiene un modelo de mini SC guiado manualmente que denomina LT *straddle carrier* que sirve para manipular contenedores con *cassettes*, pero que no permite pasar cargado por encima de otro contenedor; por lo que se utiliza de apoyo a otro sistema de interconexión como pueden ser plataformas autocargantes (*translifters*) o C-AGVs.

Como ya se ha adelantado en este apartado, existen mini SCs que operan de forma automática, por lo que no necesitan manipulador (Figura 174). En el caso de Kalmar, que es el principal fabricante de estos equipos, el sistema de navegación calcula la posición del vehículo dentro de la terminal mediante una malla instalada en el suelo. Cada vehículo dispone de 2 sensores, uno a cada lado del vehículo, que permiten determinar la posición dentro de la terminal. Con este sistema se alcanza una precisión de  $\pm 50$  mm.

Figura 174. Mini SC de Kalmar automático. *AutoShuttle Carrier*



Fuente: Cargotec Corporation

La gran ventaja de estos vehículos es su mayor productividad respecto a otros vehículos de interconexión. Según el fabricante, en el caso de que se trate de equipos automáticos, se requieren entre 2 y 3 unidades por cada grúa de muelle, mientras que en el caso de utilizar AGVs convencionales se necesitan entre 5 y 7 vehículos por cada grúa, aunque la proporción es menor si se usan L-AGVs o C-AGVs (Tabla 20).

A pesar de tener un coste de adquisición mayor al de otros equipos que permiten el *decoupling* total, al menos respecto a los mini SCs manuales, este coste se recupera en apenas 2 años por la suma del ahorro en mano de obra, consumos y mantenimiento.

Por otra parte, Kalmar tiene un SC automatizado que denomina *Automatic Straddle Carrier* que permite almacenar hasta 4 alturas. La recepción y entrega de los contenedores a los camiones externos la realiza un operario de modo semiautomático en el patio o desde una sala de control remoto (ver apartado 8.1.2.1.5).



La primera terminal en adoptar los mini SCs como equipo de transporte horizontal fue la de APM Terminals en Portsmouth, Virginia, que adquirió 20 unidades a finales de 2007. Desde 2010 la nueva terminal del puerto de Algeciras, TTI Algeciras, de la naviera Hanjin Shipping es la primera terminal semi-automatizada de España, dispone de 20 de estos equipos, que alcanzan una productividad de 28 ciclos/hora en el lado mar. Tercat-HPH tiene en servicio desde septiembre de 2012 la terminal BEST en Barcelona con el mismo sistema de patio y de interconexión que TTI Algeciras.

En los tres casos anteriores se trata de equipos guiados manualmente. La terminal TraPac Inc de Los Ángeles ha adquirido 17 mini SCs de Kalmar en la versión automática (Port Strategy, octubre 2011c).

La nueva terminal de contenedores London Gateway y Muuga Container Terminal en Estonia son otras instalaciones que tienen o van a adquirir algunas unidades de mini SCs.

Los mini SCs puede utilizarse en terminales grandes como la de APM Terminals en Virginia —con 113 ha y 950 m de muelle— o la futura London Gateway, o de pequeño tamaño como la de Muuga CT con apenas 30 ha y 400 m de muelle para contenedores.

Para finalizar con los equipos de interconexión, se presenta un análisis comparativo de los equipos más utilizados en las terminales del norte de Europa. La compañía holandesa TBA Nederland ha realizado un estudio en el que se ha llevado a cabo una simulación con el fin de comparar 4 tipos de equipos de interconexión: L-AGV, AGV convencional, *Shuttle Carrier* manual y automático. Según este estudio, realizado para una terminal con patio automatizado con 50 RMGs y 10.000 huellas, 10 grúas de muelle y una previsión de 1,2 millones de movimientos anuales, la mayor productividad de los equipos de interconexión la presentan los *Shuttle Carrier* operados de forma manual, aunque el coste operativo es mayor por la necesidad de mano de obra, mientras que los AGVs convencionales son los que presentan una productividad menor. En cuanto a los L-AGVs, presentan la ventaja de que la grúa de patio no se ve obligada a esperar al equipo de transporte en ningún momento puesto que aunque el vehículo no se encuentre bajo la grúa, esta puede dejar los contenedores sobre la estructura y continuar trabajando, por lo que el número de equipos necesarios es menor que con los AGVs convencionales. Los resultados del estudio se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Comparación de sistemas de interconexión

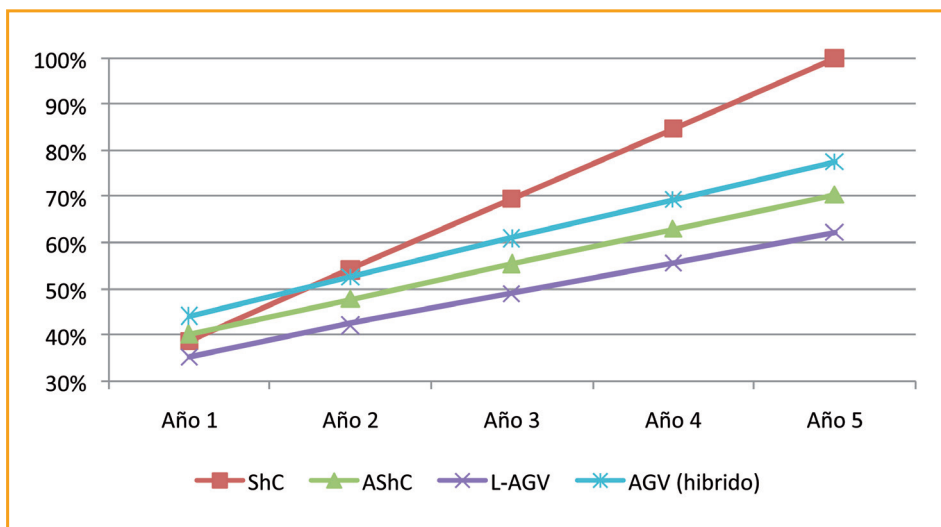
Escenario con 10 grúas de muelle, 25 bloques con dos RMGs (10.000 huellas) y 350 cont/hora en patio		
Sistema de interconexión	Nº de vehículos para alcanzar el 85% de la productividad máxima de la grúa	Nº de vehículos para alcanzar el 90% de la productividad máxima de la grúa
<i>Lift AGV</i>	33	No se puede alcanzar este nivel
<i>AGV convencional</i>	65	No se puede alcanzar este nivel
<i>Shuttle® carrier</i> (ShC)	27	40
<i>Shuttle® carrier</i> automático (AShC)	30	40

Fuente: Saanen (2011)

Como se observa en la tabla anterior, aparentemente los equipos horizontales con mejores productividades para este caso son, en orden descendente, el ShC, el AShC y el L-AGV. Pero ese mismo estudio de TBA reflejaba que para los costes de adquisición, de mano de obra, mantenimiento, combustible, intereses de capital invertido, equipos auxiliares, pavimento, etc., pese a que el ShC tiene una inversión inicial un 66% menor a la del AGV convencional, que es la mayor de los 4 equipos, el gasto anual para los ShCs es más del doble que el del resto de equipos, por lo que después del segundo año de operación, ya es el equipo más caro sumando inversión más gasto anual (Gráfico 3). En ese mismo gráfico, en el que se compara la suma de inversiones y costes anuales por cada tipo de equipo en porcentajes respecto el 100% que se fija como la suma de inversión y costes anuales tras el quinto año del ShC (que es el equipo más caro), se observa como prácticamente desde el principio el equipo más rentable económicamente es el L-AGV (Saanen, 2011).



Gráfico 3. Comparación de la inversión y gasto anual según equipo horizontal



Fuente: Fundación Valenciaport con datos de TBA BV (2010)

## 10.2. Innovaciones de gestión

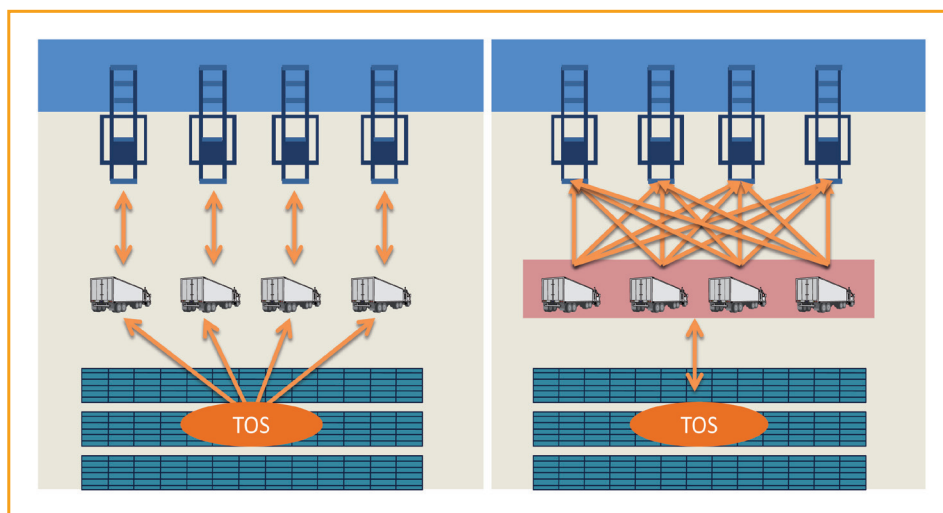
### 10.2.1. Mejora del rendimiento operacional

#### 10.2.1.1. Pooling de equipos

Como se ha comentado en el capítulo de almacenamiento (apartado 8.2.1.2), el *pooling* es el término utilizado para la gestión de recursos que consiste en la agrupación y combinación de todos los equipos dedicados a una misma actividad con la finalidad de minimizar la cantidad de los mismos, maximizando la utilización de cada uno de ellos, reduciendo los costes de explotación (Figura 175).

Dentro del *pooling* de equipos de interconexión existen dos grandes niveles que consisten en asignar los vehículos a cualquier grúa que opera en un mismo buque (*pooling* por buque) o a cualquier grúa de muelle (*pooling* total).

Figura 175. Operativa normal vs. *pooling* de elementos de transporte horizontal



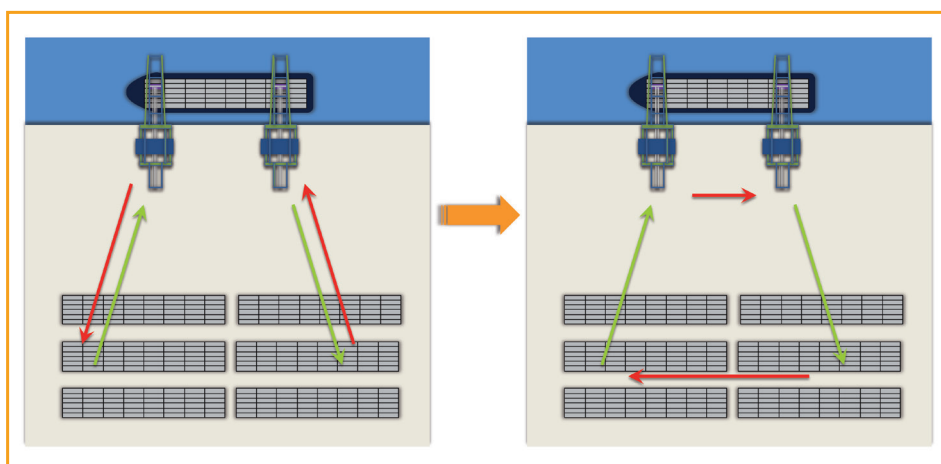
Fuente: Fundación Valenciaport

Cada uno de estos niveles de *pooling* añade un grado más de dificultad a la gestión y planificación de las operaciones de la TPC ya que se incrementa el número de variables involucradas. Sin embargo, se considera que el *pooling* total de equipos bien gestionado puede aportar grandes beneficios, entre ellos, la disminución de los equipos necesarios, el incremento del rendimiento operacional por la reducción de las distancias recorridas y de los viajes en vacío, y por tanto la reducción del coste de la mano de obra. A esto hay que sumar ahorros energéticos y disminución de emisiones.

Las grúas de muelle trabajan en operaciones de descarga y posteriormente de carga del buque, por lo tanto cuando los vehículos de interconexión son asignados exclusivamente a una grúa, es muy difícil minimizar los viajes en vacío. En cambio cuando los equipos de interconexión trabajan sirviendo de forma simultánea a más de una grúa, éstos pueden reducir sus traslados en vacío trabajando a la vez para grúas dedicadas a la carga y a la descarga. Por un lado esta modalidad de gestión del transporte aumenta las distancias que recorre cada equipo en cada ciclo, aunque por otro lado reduce los recorridos en vacío y el número total de ciclos, lo que se traduce en una reducción del número de equipos requeridos para llevar a cabo la interconexión muelle-patio (Figura 176).

La carga y descarga simultánea con una misma grúa (doble ciclo), no es una práctica habitual debido a su complejidad aunque el operador HHLA planea implementar el doble ciclo de carga y descarga simultáneas en su terminal automatizada Container Terminal Altenwerder (CTA) de Hamburgo (ver apartado 7.2.1.1).

Figura 176. Reducción de retornos en vacío y de número de ciclos mediante *pooling*



Fuente: Fundación Valenciaport

Sin embargo, a la hora de aplicarlo a la TPC, el *pooling* tiene dos grandes dificultades: por un lado la resistencia al cambio por parte de los recursos humanos, y por otro el propio TOS que utiliza la terminal. Para que el *pooling* sea efectivo, el TOS debe recalcular en cada momento los recorridos mínimos de cada equipo y enviar las órdenes instantáneamente tanto a cada uno de ellos como a los propios equipos de almacenamiento (plataformas, AGVs, ShCs, RTGs, ASCs, etc.). Así pues, los equipos deben recibir solamente una orden a ejecutar y cuando la acaban de ejecutar es cuando deben recibir la siguiente orden, de manera que el sistema esté constantemente recalculando cuáles son los recorridos mínimos para cada uno de los equipos en cada instante.

En definitiva, se puede afirmar que el *pooling* es una potente medida para reducir el consumo energético tanto de los equipos de patio como de los de interconexión, logrando reducir los recorridos totales y optimizando el uso de los mismos, además de maximizar

la productividad y reducir los costes de mano de obra (en el caso de usar equipos manuales), los de mantenimiento de equipos (menores recorridos implican menos cambios de ruedas, aceite, frenos, etc.) y por lo tanto alargar la vida útil de los equipos de la TPC. La Tabla 7 resume las fortalezas y debilidades del *pooling*. El uso de herramientas que se basan en modelos de simulación puede ser de gran ayuda a la hora de tomar decisiones en cuanto a la idoneidad de la aplicación del *pooling* en una terminal concreta.

Tabla 21. Fortalezas y debilidades del *pooling* en el subsistema de interconexión

Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de recorridos de los equipos de interconexión.</li> <li>- Reducción de viajes en vacío de los elementos de interconexión.</li> <li>- Reducción del número de ciclos de los elementos de interconexión.</li> <li>- Minimización del número de equipos empleados en cada mano y jornada.</li> <li>- Maximización de la utilización de los equipos de almacenamiento e interconexión.</li> <li>- Maximización de la productividad de los equipos.</li> <li>- Reducción de consumos energéticos.</li> <li>- Reducción de costes energéticos, de mano de obra (con equipos manuales) y mantenimiento.</li> <li>- Aumento de la vida útil de los equipos.</li> <li>- Fácilmente aplicable a terminales automatizadas.</li> </ul>
Debilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de la duración de los ciclos.</li> <li>- Dificultad de cálculo simultáneo del recorrido mínimo de cada uno de los equipos y envío de órdenes de trabajo a los mismos de forma instantánea por parte del TOS.</li> <li>- Rigidez del dimensionamiento de la contratación de la mano de obra.</li> <li>- Resistencia al cambio por parte de los recursos humanos.</li> </ul>

Fuente: Fundación Valenciaport

### 10.2.1.2. Decoupling

El *decoupling* se conoce como la práctica de desacoplar los ciclos de trabajo de los diferentes equipos. Para materializar esta medida de gestión se necesita utilizar equipos de interconexión que puedan trabajar independientemente de la actividad de las grúas de patio o de muelle. Estos equipos tienen que ser capaces de recoger o dejar un contenedor por sí mismos, sin ayuda de la grúa, utilizando una estructura auxiliar o directamente desde el suelo, para que ni las grúas tengan que esperar al equipo de interconexión, ni el equipo de interconexión tenga que esperar a la grúa, aunque esto último no será siempre posible.

El *decoupling* puede ser parcial, cuando la desconexión solo afecta a la relación entre el equipo de interconexión y las grúas de patio. En este caso las grúas de muelle necesitan entregar o recoger un contenedor directamente del equipo de interconexión, por lo que la grúa tendrá que esperar a que esté presente el equipo o el equipo tendrá que esperar a que la grúa le cargue o descargue el contenedor. O puede ser un *decoupling* total, donde la desconexión entre los equipos de equipo de interconexión y las grúas se produce tanto en patio como en muelle. Además el *decoupling* puede realizarse con equipos de interconexión automáticos o manuales y puede necesitar o no un elemento auxiliar (Tabla 22).

Tabla 22. *Decoupling* en el subsistema de equipo de interconexión

	Equipo auxiliar	Automático	Manual
<i>Decoupling</i> parcial	Estructura metálica fija	<i>Litf</i> AGV	-
<i>Decoupling</i> total	-	Mini SC automático	SC Mini SC
	<i>Cassette</i> móvil	<i>Cassette</i> AGV	Plataforma autocargante ( <i>translifter</i> )

Fuente: Fundación Valenciaport

Así pues, el sistema de interconexión elegido es el que determina finalmente el nivel de *decoupling* que alcanza la terminal, pero en definitiva lo que se busca con esta innovación es que unos equipos no tengan que esperar a otros (de muelle, patio o interconexión) para realizar sus tareas, o que al menos esperen lo menos posible y en cualquier caso solo lo hagan los equipos de interconexión, consiguiendo un aumento de la productividad en la operativa y ajustando al máximo posible el dimensionamiento de los equipos de interconexión, con lo que se consigue también un ahorro por la reducción de la mano de obra (en el caso de que los equipos no sean automatizados), y también en lo que se refiere a la inversión en la adquisición de estos equipos y en su mantenimiento, porque se puede optimizar mucho más la cantidad total necesaria para un funcionamiento eficaz de la terminal.

### 10.2.1.3. Secuencia de órdenes y elección de rutas

Los medios para la optimización de los recursos del subsistema de interconexión son:

- La asignación del número de vehículos de interconexión a las grúas de muelle;
- La asignación de una secuencia de órdenes de transporte a cada vehículo; y
- La asignación de la ruta a recorrer por cada vehículo y control del tráfico.

La primera decisión, de nivel táctico, está condicionada por el rendimiento de la línea de atraque combinado con el de la grúa de patio así como por si los equipos se asignan exclusivamente a una grúa u operan en *pooling*. Con todos estos factores, en base a los criterios adoptados por la terminal, se puede determinar el número mínimo de vehículos de interconexión necesarios para que el desarrollo de la interconexión muelle-patio no suponga un cuello de botella. Un adecuado número de vehículos de interconexión es importantísimo para que la operativa se lleve a cabo sin tiempos de espera de las grúas, así como para ajustar su coste ya que, por ejemplo, por cada conjunto de cabeza tractora más plataforma el coste de la operativa se incrementa en un 8-10%.

Una vez determinado el número de vehículos a utilizar, a cada uno de estos vehículos debe asignársele una secuencia de órdenes. Si no hay *pooling* de equipos, como el horizonte temporal en el que debe tomarse la decisión es muy corto, la asignación de órdenes es relativamente sencilla de hacer. Sin embargo si hay *pooling*, y se plantea un objetivo más complejo como minimizar los recorridos en vacío, la asignación de la secuencia de órdenes de transporte puede complicarse. El nivel máximo de complejidad se alcanza cuando hay régimen caótico de almacenamiento en patio y operación simultánea de carga y descarga. La secuencia de órdenes a los equipos de interconexión debe hacerse considerando múltiples condicionantes operacionales, de costes y de seguridad: como que las grúas de muelle no se detengan, minimizar el número de viajes, los recorridos totales y los recorridos en vacío de los equipos de interconexión, mantener las condiciones de seguridad para mercancía, vehículos y operadores, control del coste, etc.

Cuando los equipos de interconexión son AGVs se requiere una coordinación muy precisa entre los mismos, la grúa de patio y la de muelle. De lo contrario aparecen desconexiones permanentes en el circuito que enlaza el subsistema de carga y descarga y el de almacenamiento como la que sucede cuando un AGV tiene que esperar para ser cargado por una grúa en patio y por lo tanto la grúa de muelle se encuentra temporalmente para-

da (flujo discontinuo de contenedores). Diferentes publicaciones como Kim, Jeon y Ryu (2006), Lehmann, Grunow y Günther (2006) y Grunow, Günther y Lehmann (2006) han planteado soluciones al problema de descoordinación de equipos automáticos, aunque no son objeto de análisis en este libro.

La tercera decisión operacional consiste en la elección de las rutas a seguir por los equipos de interconexión. Dentro de las limitaciones que imponen la definición de sentidos de circulación y segregación de tráfico en el nivel táctico, esta decisión se deja en manos de los conductores de los vehículos, quienes generalmente emplean los trayectos más cortos para ir de un punto a otro aportando cierta flexibilidad a los vehículos para reubicarse y atender la demanda de las grúas.

En el caso de AGVs y ALVs la asignación de rutas y su control es menos flexible ya que de antemano deben considerarse los recorridos del tráfico presente en cada momento. Las rutas se definen minimizando los recorridos considerando las normas de circulación internas y evitando las colisiones.

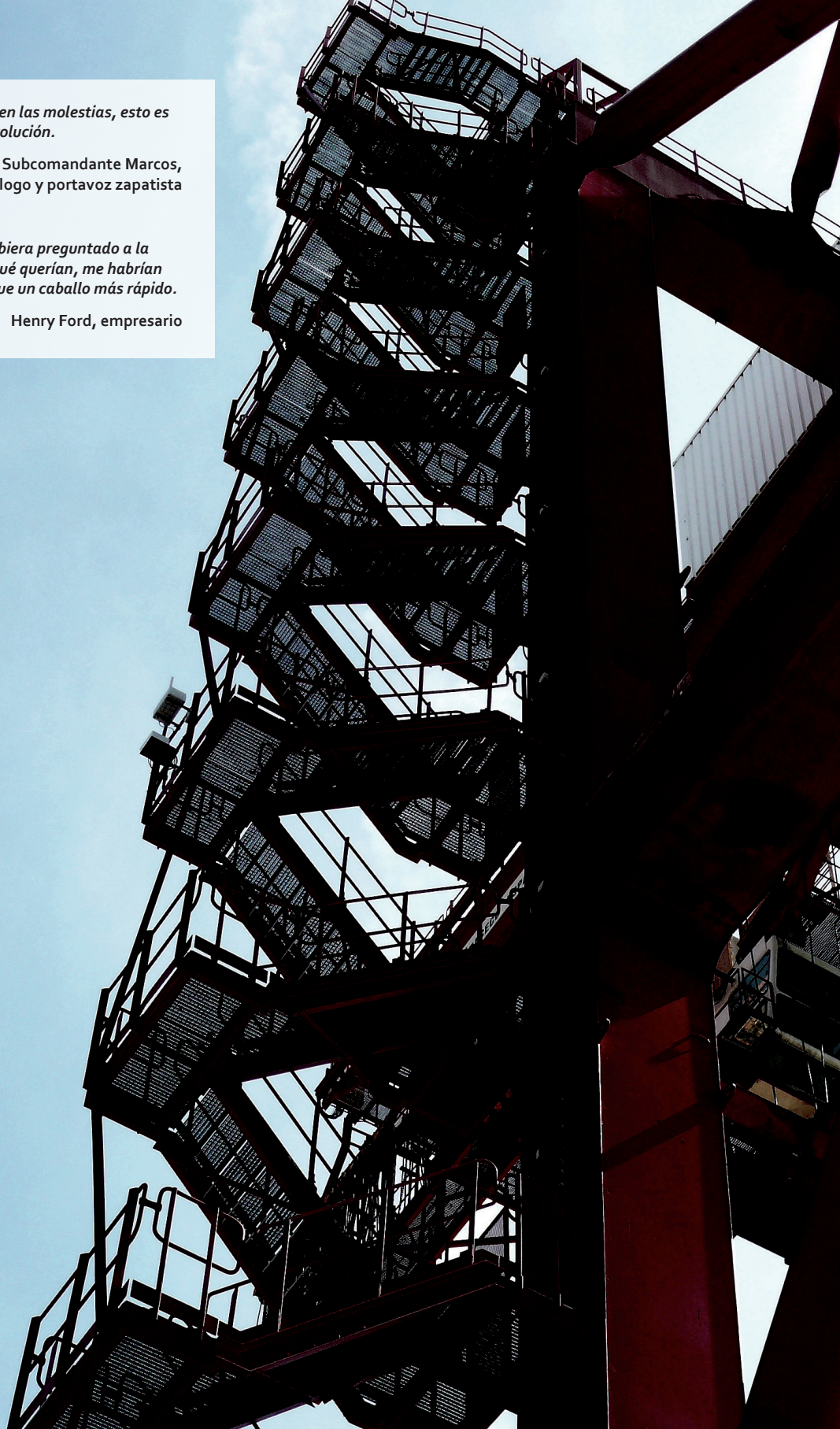


*Disculpen las molestias, esto es  
una revolución.*

Subcomandante Marcos,  
ideólogo y portavoz zapatista

*Si le hubiera preguntado a la  
gente qué querían, me habrían  
dicho que un caballo más rápido.*

Henry Ford, empresario





## Anexo. Decisiones operacionales en TPCs

### I. Introducción

Este anexo despliega la descripción de las decisiones operacionales que deben tomarse en las terminales portuarias de contenedores según la clasificación propuesta en el Capítulo 4, es decir utilizando por una parte el criterio del horizonte de planificación y gestión en el que se enmarcan, y por otra, el subsistema afectado, aunque hay decisiones que conciernen a la totalidad de la terminal.

Además se analiza la conveniencia de utilizar la simulación como herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones y, en su caso, se señala el nivel de abstracción que, de acuerdo con el Capítulo 6 es el adecuado para abordar cada una de ellas.

La Figura 21 del Capítulo 4 representa las decisiones que deben tomarse en las TPCs, clasificándolas, según el doble criterio mencionado: el subsistema al que pertenecen y el horizonte de planificación y gestión al que afectan. Algunas decisiones son transversales a todos los subsistemas.

## 2. Nivel estratégico

### 2.1. La terminal como sistema

#### 2.1.1. Configuración de la terminal

La definición del *layout* consiste en la delimitación de áreas en la terminal. La terminal tiene una superficie total en la que deben ubicarse los espacios necesarios para que pueda desarrollar su actividad: área de almacenamiento, zona de operaciones del muelle, puertas y zona de recepción y entrega de camiones, oficinas, aparcamientos, talleres de maquinaria y otras áreas que pueden existir o no en función de la actividad de la terminal, como la zona del ferrocarril, el almacén de consolidación o el taller para reparación de contenedores, entre otras. El tamaño necesario para cada uno de ellos dependerá de la actividad de la terminal. Así, una terminal dedicada fundamentalmente al transbordo, tendrá poco espacio destinado a puertas y recepción y entrega terrestres.

Según Busk (2007), la determinación óptima de la configuración del patio de una TPC puede llegar a representar para la misma un incremento de la capacidad de almacenamiento de hasta el 25% y reducir el coste por movimiento de contenedor hasta un 5%.

Existen varias decisiones estratégicas que están vinculadas y unas dependen e influyen en las otras. Es el caso de la configuración en planta de la terminal (*layout*), la elección del tipo de equipo de almacenamiento, la capacidad de almacenamiento y el grado de automatización. Estas deben tomarse en el caso de una terminal de nueva construcción y son las que se ven afectadas cuando se quiere remodelar una terminal ya existente.

La orientación y el tamaño de las pilas, de los pasillos entre ellas, de los viales de circulación y de los carriles para vehículos de interconexión muelle-patio, así como si la operativa es automática o no, son algunos de los factores que dependen y condicionan el tipo de equipo de almacenamiento.

Por otro lado, aunque su incidencia en el *layout* de la terminal es considerablemente menor, la elección de los equipos de carga y descarga de buques también lo condicionan, sobre todo por el gran espacio que requieren en muelle las grandes grúas súper post-panamax con una distancia entre carriles hasta de 42 metros y un *backreach* de 25 metros.

En terminales existentes, pueden implementarse cambios de *layout* para obtener mejoras en capacidad, productividad, seguridad o eficiencia energética, actuando sobre el tamaño de las pilas y de los bloques, su orientación, y la forma de gestión.

### **Superficie de la terminal**

En cualquier terminal el subsistema de almacenamiento es el que más superficie consume y por ello sufre una gran presión para obtener el máximo aprovechamiento de su superficie. La optimización del uso del espacio debe considerar varios factores: económicos, rendimiento y capacidad, y sostenibilidad. Conocida la superficie de almacenamiento, se puede determinar el tráfico máximo que se puede atender. Los principales factores que influyen en esa capacidad son la densidad superficial (huellas por hectárea de patio); la altura de apilado; y el tiempo de estancia de los contenedores en la terminal (Monfort *et al.* 2011a). Los dos primeros están relacionados y dependen del tipo de equipamiento elegido, aunque también constituyen decisiones operacionales a nivel táctico. Es decir, conocido el tráfico máximo, se puede elegir el tipo de equipo y viceversa, para cada equipo se puede determinar el tráfico máximo que se puede atender.

Para un mismo equipo de patio, el apilado con alta densidad tiene como ventajas una mayor sostenibilidad por necesitar menos superficie y también porque los recorridos medios de los vehículos son menores lo que supone una reducción del consumo y un aumento de la productividad de los equipos de interconexión. Incluso el gasto de alumbrado es menor. Esto repercute en la reducción de los costes de utilización del suelo (tasa de ocupación) y en los costes energéticos.

El principal inconveniente de una densidad excesiva, si se consigue con incremento de altura de pila, es el aumento de las remociones, reduciendo la productividad. Por otra parte, si se ajustan al mínimo los tamaños de viales y pasillos, las maniobras son más difíciles y la visibilidad menor. Al maximizar la densidad se hace necesario reducir las velocidades de los equipos de patio y de interconexión por motivos de seguridad.

Para la elección del *layout* óptimo del patio de una terminal en cuanto a términos de capacidad y productividad se refiere puede recurrirse a una simulación grado de abstracción 3.

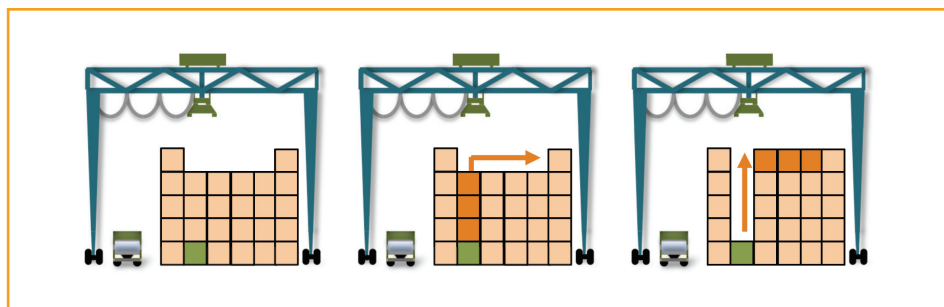


## Configuración de las pilas

El incremento del tamaño de pila permite un aumento de la densidad de apilado y por tanto, de la capacidad. Sin embargo este aumento de densidad no va necesariamente ligado a un incremento de la productividad de la operativa de patio ya que con el aumento del tamaño de pila (sobre todo en altura) crece también el número de remociones a realizar para acceder a un contenedor determinado.

Para evitar este problema, en el caso de utilizar en patio grúas pórtico (RTGs o RMGs), se han diseñado algunas configuraciones de perfiles que permiten acceder a todos los contenedores de la pila sin necesidad de trasladar la grúa longitudinalmente para reubicar los contenedores que se remocionan. Con esto, al suprimir el tiempo de desplazamiento de los equipos, se consigue una buena productividad de las operaciones a costa de cierta capacidad de almacenamiento, ya que la última fila queda prácticamente inutilizada (ver Figura 177).

Figura 177. Configuración del perfil de pila



Fuente: Vieira *et al.* (2011)

El análisis de la repercusión de la altura de pila en el número de remociones puede ser abordado con una simulación con nivel de abstracción 4.

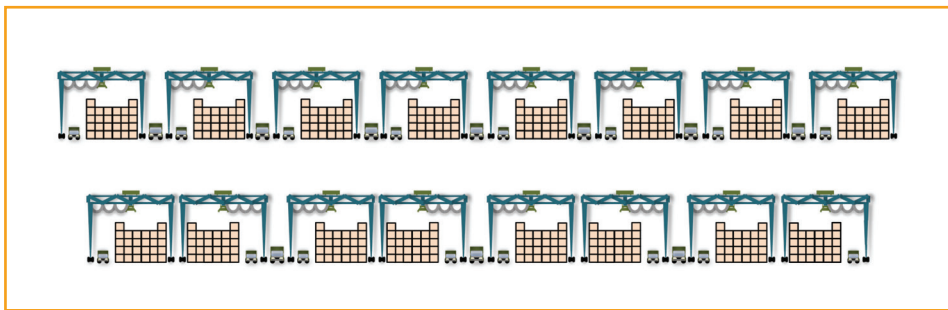
## Disposición de los viales

Una cuestión adicional en cuanto al diseño de las pilas es la disposición de los viales de circulación y los internos de los pórticos para recepción y entrega de camiones en el

caso de que el equipo de almacenamiento sean RTGs tal y como se menciona en Vieira *et al.* (2011). Como puede verse en las siguientes figuras existen dos posibilidades:

- Un carril de circulación entre cada pila, y el vial interno siempre del mismo lado de las pilas.
- Un carril de circulación cada dos pilas, con los viales internos en costados opuestos.

Figura 178. Disposición de viales y pilas



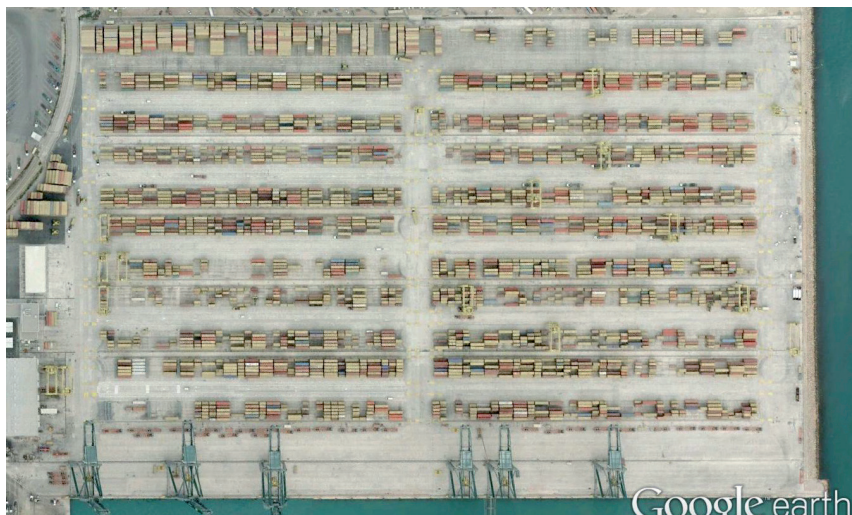
Fuente: Vieira *et al.* (2011)

Para viales del mismo tamaño, la primera disposición necesita una mayor superficie de almacenamiento, pero tiene una primera ventaja de que para cambiar un pórtico a la pila contigua solo hace falta desplazarlo lateralmente en la cabecera, mientras que con la segunda disposición es necesario girar el equipo 180° para cambiarlo de pila y por tanto en las cabeceras de las pilas se necesita más espacio. La segunda ventaja de tener viales entre todas las pilas es la mayor accesibilidad de los contenedores por equipos diferentes a los RTGs, por ejemplo *reachstackers*.

### Disposición en planta de las pilas de almacenamiento

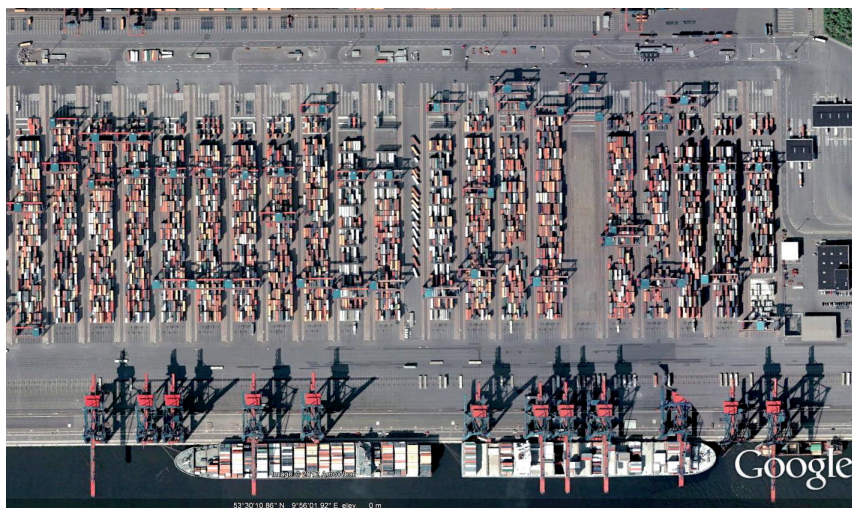
En cuanto a la configuración en planta existen dos posibilidades para la orientación de las pilas: paralelas al muelle (configuración tradicional, Figura 179) y perpendiculares al muelle (Figura 180). Este factor está condicionado por la geometría de la terminal y por el tipo de equipo de almacenamiento empleado.

Figura 179. *Layout* de MSC Terminal Valencia (Puerto de Valencia – España)



Fuente: Google Earth©

Figura 180. *Layout* de Container Terminal Altenwerder (Puerto de Hamburgo – Alemania)



Fuente: Google Earth©



Para SCs la mejor disposición es con las pilas perpendiculares al muelle, pues con ella se obtienen menores recorridos medios de los equipos.

Con RTGs, aunque es más habitual la configuración de pilas paralelas al muelle, ambas disposiciones tienen ventajas: con las pilas paralelas al muelle por una parte se necesita menos espacio para los equipos de interconexión muelle-patio y por otra, las maniobras de los RTGs no interfieren con la circulación de los vehículos en la zona del muelle y por tanto con la operación marítima. En cambio, con esta disposición, los recorridos medios de los equipos tanto de almacenamiento como de interconexión son mayores.

Para RMGs y pórticos automáticos ASCs, la tendencia que se está imponiendo es disponer las pilas de modo que formen  $90^\circ$  con la línea de atraque. Esta configuración da como resultado una mayor densidad de apilado en patio, pues se reduce la distancia entre bloques de contenedores al no tener que dejar espacio para viales de circulación de los vehículos de interconexión. Adicionalmente esta configuración reduce los recorridos de los equipos tanto de almacenamiento como de interconexión, con las consecuencias de reducción de la duración del ciclo y aumento de la productividad, la disminución de consumos, incluso una reducción del número de equipos de interconexión necesarios en la operativa pues sus ciclos son más cortos.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 4.

### 2.1.2. Selección del TOS e integración con las TICs

El TOS (Terminal Operating System) se analiza en el Capítulo 6. Es el *software* de gestión de la terminal y el *hardware* que lo soporta. Existen soluciones comerciales que conviven con herramientas de desarrollo propio, adaptadas a los requisitos particulares del operador. En cualquier caso su selección debe ser muy cuidadosa porque es una herramienta muy costosa de implantar en tiempo y dinero y con unas consecuencias de gran alcance.

El flujo físico de las mercancías va indisolublemente acompañado de un flujo de información que lo posibilita. La transmisión de esa información es factible gracias a un conjunto de herramientas que han evolucionado desde el soporte papel, hasta los documentos electrónicos gracias a las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs) que se apoyan en los ordenadores, programas informáticos y redes para el tratamiento, registro,

almacenamiento, transmisión y difusión de datos. Este es un campo en el que las innovaciones son constantes y las nuevas tecnologías sustituyen con rapidez a las antiguas una vez demuestran sus ventajas (Monfort et al. 2011b). Entre las ventajas de utilizar medios electrónicos para la transmisión de información pueden mencionarse las siguientes:

- Mayor rapidez en la comunicación de la información.
- Incremento de la información disponible.
- Reducción en los tiempos de proceso de información.
- Ahorro de costes.
- Seguridad en la transmisión de datos.
- Eliminación de errores y retrasos.
- Aumento de la colaboración y la relación entre interlocutores (clientes, proveedores, administraciones, etc.).

Por su parte, los sistemas de comunicaciones que se aplican en TPCs se utilizan para tres funciones: la identificación (como el código de barras, las bandas magnéticas, o las tecnologías de OCR o RFID); los que sirven para transmitir señal de audio (*walkie-talkie* o terminales de radio); y aquellos que sirven para la localización, como el GPS y similares, el LADAR o los transpondedores (Monfort et al. 2011b). Algunas de estas aplicaciones se comentan en los capítulos correspondientes.

TBA, una de las empresas líderes en la simulación de terminales marítimas de contenedores, ha desarrollado su herramienta de emulación llamada CONTROLS, y ha llegado a un acuerdo con Navis para trabajar conjuntamente en terminales cliente de Navis para ajustar el TOS durante la fase de planificación y arranque de dichas terminales. También ofrecen servicios para terminales ya en servicio en las que CONTROLS permite analizar el comportamiento de la instalación si se implantase el TOS de Navis.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

### **2.1.3. Definición de herramientas de planificación y gestión: CMI, indicadores, simulación, emulación**

La gestión adecuada de una terminal portuaria debe conllevar la planificación y explotación de un sistema de medición integral e integrado capaz de describir el funcionamiento

de la instalación en su conjunto y el de sus recursos. Para ello lo habitual es diseñar un sistema de indicadores que facilite ese seguimiento y lo óptimo es definirlo en el despliegue de un mapa estratégico, instrumento del Cuadro de Mando Integral, que traduce la estrategia de la empresa en objetivos cuya consecución se mide a través de dichos indicadores (Capítulo 5).

Por su parte, la simulación es un soporte muy potente para la toma de decisiones. Permite imitar el comportamiento de una terminal real, plantear cambios y analizar los resultados antes de actuar sobre el sistema real. La emulación supone un paso más conectando el simulador al TOS. Estas herramientas se describen en el Capítulo 6.

Las iniciativas estratégicas, que conciernen a la localización y el *layout* de una nueva terminal, así como las decisiones referentes a los tipos y número de equipamiento a adquirir y al grado de automatización, se implementan durante largos periodos de tiempo, por norma general años, y requieren grandes inversiones financieras. Por este motivo, para el estudio de su viabilidad, éstas y algunas iniciativas tácticas cuyo horizonte temporal e inversión inicial son también significativos requieren de modelos de simulación que permitan reproducir el comportamiento de las mismas mediante una serie de experimentos con un coste muy reducido y en un tiempo mucho menor que el que supondría la realización de estos ensayos a escala real. Así aparece el concepto de CMI Simulado *versus* el concepto convencional de CMI, o CMI Real (Figura 9, Capítulo 6).

Para el cálculo de sus indicadores el CMI Simulado se alimenta de datos procedentes de simulaciones, en lugar de utilizar datos de series históricas. De este modo, el CMI muestra, por comparación con las metas pre-establecidas, en qué medida las iniciativas simuladas contribuyen al logro de los Objetivos Estratégicos para los que fueron diseñadas, lo que determina cómo de alineadas están con la estrategia de la terminal y por lo tanto la idoneidad de su implementación, pudiendo evaluarse varias iniciativas de forma conjunta para estudiar la interacción entre ellas y las ventajas de su ejecución agregada. Para ello es necesario que las simulaciones se realicen con un nivel de abstracción tal que permita modelizar operaciones a nivel bloque, simulando incluso la operativa de patio y la interconexión de subsistemas.

Por su parte, el uso de simulación es también una decisión operacional de la terminal como conjunto a este nivel. Su conexión con otras herramientas de planificación y gestión y con el TOS potencia los beneficios que estas tienen por separado.

#### **2.1.4. Grado de automatización**

La Automatización se desarrolla en el Capítulo 6. En los capítulos 7 a 10 se introducen las innovaciones referidas a automatización para cada uno de los subsistemas.

Los estudios de viabilidad de implantación de automatizaciones deben considerar la reducción de los costes de operativa que supone al disminuir la mano de obra necesaria o el consumo energético. Por otro lado, el análisis también debe reflejar las dificultades de gestión y control de la operativa consecuencia de la automatización. Por ello, para sustentar estos estudios suele recurrirse a la simulación.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional depende del grado de automatización en cuestión.

### **2.2. Subsistema de carga y descarga de buques**

#### **2.2.1. Elección de grúas de muelle**

Para realizar las operaciones de carga y descarga de buques pueden utilizarse grúas pórtico de muelle (grúas *ship-to-shore*), grúas móviles o grúas del buque.

Las grúas del buque no forman parte del equipamiento de la terminal o del puerto. Se trata de grúas montadas en los buques destinadas a la carga y descarga de contenedores en puertos que no tienen grúas de muelle.

Por su parte, las grúas móviles son equipos poco especializados. Se utilizan ampliamente en terminales de graneles, multipropósito y de mercancía general pues sirven para la carga y descarga de todo tipo de mercancía (contenedores, mercancía general, graneles, etc.). Sus grandes ventajas son su movilidad y versatilidad. Su uso específico en terminales de contenedores está restringido a terminales medianas o pequeñas.

Finalmente, las grúas pórtico constituyen el equipo cuyo uso está más extendido entre las TPCs de cierto tamaño. Debidamente operadas, permiten ofrecer un servicio al buque con un buen nivel de rendimiento operacional.

Las grúas de muelle son elementos determinantes para el funcionamiento de una terminal y la calidad de servicio que puede ofrecer. Además condicionan el dimensionamiento del resto de equipamientos, la capacidad de la terminal, el diseño del muelle y el tamaño de buque máximo que se puede atender. Asimismo, y exceptuando la infraestructura, se trata del elemento de mayor precio.

Los operadores de las terminales normalmente se dirigen a los fabricantes de grúas y estos construyen las grúas a medida a partir de unos modelos básicos, dado que las especificaciones de la grúa varían en un amplio rango de tamaños, alcances, velocidades, clasificación FEM, sistemas tecnológicos que incorporan, etc. En cualquier caso, el precio final depende de las especificaciones que exija el terminalista, de la zona sísmica donde se vaya a utilizar, de los “extras” (servicio técnico, innovaciones,...), del número de grúas que pida, del plazo de fabricación, de la distancia del lugar de fabricación al lugar de uso, del fabricante elegido, etc.

El tamaño de las grúas pórtico debe ajustarse al tamaño de los buques que va a atender en la medida de lo posible. Las dimensiones de las grúas que se ven condicionadas por el tamaño de los buques son: el alcance frontal desde el eje del carril lado mar, altura de elevación de la carga sobre muelle y el descenso en bodega desde el nivel del cantil, e indirectamente la distancia entre carriles que afecta a la estabilidad de la grúa. Algunas de estas dimensiones, como la altura de elevación de la carga sobre muelle, además de afectar al precio de adquisición de la grúa, tienen repercusión sobre el coste total de la operativa y la productividad: los recorridos de carga y descarga de las grúas de mayor tamaño son más largos y por tanto por una parte consumen más energía y por otra tiene mayor duración; de ahí la importancia de no sobredimensionar el equipo de muelle.

Debido a la disparidad del tamaño y las peculiaridades de los buques que operan en algunas terminales, el operador puede plantearse la adquisición de grúas de distintos tamaños y características, asignándolas posteriormente de acuerdo a las dimensiones y necesidades del buque teniendo en cuenta las restricciones físicas existentes (apartado 3.2.2). Esta alternativa dificulta enormemente la gestión del muelle y la asignación de atraques, así como la manipulación, pues los operarios deben acostumbrarse a manejar equipos diferentes. Estos inconvenientes pueden hacer que, lejos de mejorar la productividad de la terminal, esta decisión la empeore.

En cualquier caso, una terminal ha de ser capaz de dar servicio a todos los buques que vayan a escalar en ella. Y debido al incremento del tamaño medio de los buques con el tiempo es recomendable que esté equipada con grúas cuyo tamaño sea superior al de las dimensiones del buque de mayor tamaño al que espera servir.

Otros parámetros de gran importancia en la elección de grúa son la velocidad de izado y la capacidad de elevación. La velocidad de izado de una grúa, junto con la altura de elevación de la carga sobre muelle (distancia a recorrer por el contenedor), determinan la duración del ciclo de carga y descarga y por tanto afectan a la productividad. Por su parte, la capacidad de elevación de una grúa depende tanto del tipo de contenedor a izar como del número de contenedores que es capaz de manipular en una izada; es decir, del tipo de *spreader* que se utilice.

El principal problema al que se enfrentan las grúas con el paso del tiempo es la fatiga de la estructura de acero. Por eso, en la selección de la grúa debe considerarse su vida útil, es decir el número de ciclos que podrá realizar, valor que depende del espectro de cargas que debe manipular y con la robustez de la estructura (espesor de perfiles, chapas y tubos).

Por otra parte, el número medio de movimientos anuales de una grúa depende de varios factores, como los días trabajados al año (suele considerarse un valor de 360), las horas diarias de trabajo (entre 18 y 24), el porcentaje de utilización de la grúa (entre 50 y 70%), y el rendimiento por hora de la grúa (entre 20 y 25 ciclos por hora).

Conocidos el número medio de movimientos anuales que deberá hacer la grúa, el tipo de cargas (contenedores individuales o movimientos múltiples) y la vida útil en años, se puede decidir sobre el tipo de estructura en cuanto a resistencia a la fatiga.

Además de las grúas deben elegirse los sistemas y herramientas que se les quiere incorporar con los objetivos de reducir la duración de los ciclos de carga y descarga, de aumentar el número de contenedores que pueden moverse simultáneamente, mejorar la seguridad y protección o contribuir al desarrollo sostenible, analizados en el Capítulo 7.

Finalmente, debe decidirse cuántas grúas son necesarias. Para apoyar esta decisión pueden utilizarse valores medios obtenidos mediante *benchmarking*, aunque deben ajustarse a las características del tráfico que vaya a atender la terminal y de la calidad que se quiera ofrecer entre otros factores.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 2-3.

### **2.2.2. Definición de la capacidad y el nivel de servicio de la línea de atraque**

La capacidad de una terminal portuaria puede definirse como el máximo tráfico al que puede dar servicio en un escenario definido. El proceso para su determinación obliga a realizar un modelo –necesariamente simplificado– del funcionamiento de la terminal e imaginar unas condiciones límites a las que someter el modelo.

La monografía “Manual de Capacidad Portuaria: aplicación a terminales de contenedores”, de Monfort *et al.* (2011b), desarrolla una metodología para el cálculo de la capacidad de la línea de atraque.

Los factores de los que depende la capacidad anual de la línea de atraque son:

- El número de puestos de atraque.
- La tasa de ocupación admisible. Para su cálculo debe considerarse, por una parte, la distribución de las llegadas de los buques y la distribución de los tiempos de servicio en el muelle; y por otra, la calidad de servicio asociada a la espera relativa ofertada definida como la relación entre el tiempo de espera y el tiempo de servicio durante el cual el buque está atracado siendo atendido. La tasa de ocupación se puede calcular mediante la utilización de la Teoría de Colas o por medio de modelos de simulación.
- Las horas operativas de la terminal al año. Este valor es función de los días que opera el puerto y de las condiciones laborales (turnos diarios, número de horas por turno, etc.) y meteorológicas.
- La productividad anual media de buque atracado valor que resulta del cociente entre la producción anual –expresada en contenedores– y la suma de los tiempos brutos de atraque. Esta productividad es función del número medio de grúas empleado, de su productividad y de los tiempos muertos. Además depende del tamaño medio de movimientos (“contenedores”) de las escalas, de modo que a mayor tamaño de escala, la productividad alcanzable y requerida es mayor. Durante la vida de la terminal es habitual que crezca el tamaño medio de las escalas lo que mejora la productividad media de buque atracado.



El cálculo de la capacidad es una importante herramienta de planificación de la terminal, pues no solo permite encontrar los límites de la misma, sino también definir diferentes escenarios para ver cómo respondería la terminal a esas situaciones.

El concepto de Nivel de Servicio (NdS) ha sido desarrollado para proporcionar una medida de la calidad percibida por los clientes y usuarios del sistema. Por otro lado facilita la introducción de un escenario de condiciones límite que conlleva el cálculo de la capacidad.

En líneas generales, la naviera, principal cliente de la terminal, percibe la calidad recibida a través de dos dimensiones diferentes, expresables en términos económicos. La primera de ellas es el coste de la escala, es decir el del conjunto de las cantidades que, en forma de tasas o tarifas, tiene que abonar cada vez que los buques pasan por el puerto. La segunda tiene que ver con el tiempo que emplea el buque en hacer escala en el puerto.

El indicador operacional más empleado por las navieras para medir su nivel de satisfacción respecto al tiempo de escala es el volumen de mercancías movilizado por unidad de tiempo en puerto. Puede deducirse (ver el Capítulo 4 de la monografía anteriormente citada) que este ratio depende de dos factores, uno básico gobernado por la productividad del buque atracado, y un segundo factor amplificador del anterior, que representa el efecto de la congestión de la terminal, y que puede ser estimado por la espera relativa  $T_e/T_s$  relación entre el tiempo de espera y el tiempo de servicio.

Al final del Capítulo 5 de la citada monografía se realiza una propuesta de niveles de servicio para el subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque asociados a la calidad percibida por la naviera de línea de atraque en términos de espera relativa ( $T_e/T_s$ ) y de productividad anual media de buque atracado ( $P$ ). Para cada combinación de niveles de servicio (AA, AB, ..., CC) existen unos valores que definen una horquilla de capacidad por línea de atraque (expresada en contenedores por metro lineal de atraque y año) de modo que a medida que aumentan los valores de espera relativa y productividad anual media de buque atracado, los valores de capacidad de la línea de atraque aumentan (ver Tabla 2, capítulo 2).

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 1-2.

## 2.3. Subsistema de almacenamiento

### 2.3.1. Elección de equipo de patio

La elección del tipo de equipo de patio es una de las decisiones más importantes a las que tiene que hacer frente una TPC; de ella dependerá que pueda servir a un determinado tráfico anual de contenedores (capacidad) y la configuración de sus pilas. Además, la decisión del tipo de equipo a emplear en el subsistema de interconexión también depende de esta elección.

La decisión del tipo de equipo de almacenamiento más adecuado para cada TPC depende principalmente del factor densidad de apilado. Con cada equipo de almacenamiento se obtiene una densidad de contenedores en patio distinta resultado del grado de aprovechamiento de la superficie de la terminal y de la altura a la que es capaz de apilar (ver Tabla 5, Capítulo 3).

Además de este criterio, en la decisión del tipo de equipo de patio que se va a utilizar en una terminal nueva hay que considerar otros factores como los costes de adquisición y operación –incluyendo los costes de personal– (ver Tabla 23), los requisitos de capacitación, la posibilidad de automatización o la sostenibilidad (eficiencia energética, superficie ocupada).

Tabla 23. Criterios de selección de equipo de patio

Tipo de equipos	RS+ T+P	SC	RTG + T+P	RTG + ShC	ASC+ ShC	ASC+ AGV
Productividad buque	**	***	**	***	***	*
Servicio a R/E terrestre	**	***	**	***	**	**
Densidad patio	**	**	***	***	***	***
Intensidad m.o.	*	**	*	*	***	***
Coste de inversión	***	***	**	**	*	*
Coste de operación	**	**	***	*	**	**
Requisitos de pavimentación	**	***	***	**	*	*
Posibilidad de automatización	*	**	*	**	***	***
Eficiencia energética	*	*	**	**	***	***

NOTA: Resultados Excelentes \*\*\*; Buenos \*\*, Modestos \*

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de fuentes varias

Al mismo tiempo que se elige el tipo de equipo de patio a emplear en la terminal, debe tomarse la decisión de si automatizar o no la manipulación de dichos equipos. Los avances de los últimos años están haciendo que la automatización del patio se plantee como una alternativa económicamente viable y cada vez más atractiva. De igual modo debe plantearse la electrificación de equipos.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

Las mejoras tecnológicas del equipamiento de almacenamiento se desarrollan en el Capítulo 8.

### **2.3.2. Definición de la capacidad de almacenamiento**

Como se comenta en el apartado de “Configuración de la terminal”, la capacidad de almacenamiento depende de la densidad superficial (huellas por hectárea de patio), de la altura de apilado, es decir, del equipo, y del tiempo de estancia de los contenedores en la terminal. Indirectamente también depende del grado de desarrollo del TOS, pues utilizar alturas de apilado elevadas supone una alta optimización de las órdenes de los equipos para minimizar remociones y recorridos, y una gestión cuidadosa para evitar errores.

La monografía “Manual de Capacidad Portuaria: aplicación a terminales de contenedores”, de Monfort *et al.* (2011b), desarrolla una metodología para el cálculo de la capacidad de almacenamiento de una TPC.

Cuando el espacio de patio es insuficiente para atender el tráfico previsto, las opciones que tiene una TPC son la expansión de la superficie de almacenamiento o el incremento de capacidad de la superficie actual.

El momento óptimo para comenzar las obras de expansión es 4 años antes de que su utilización vaya a ser requerida. En cualquier caso una expansión resulta muy costosa, supone un gran impacto ambiental y conlleva unos plazos de los que la terminal no suele disponer.

La opción de optimizar el espacio disponible puede conseguirse mediante varias medidas, entre las que pueden mencionarse las siguientes:

- Reducción de los tiempos de estancia de los contenedores en patio, en concreto de los contenedores vacíos;
- Implantación de un sistema de control de las llegadas terrestres limitando el periodo de almacenamiento antes del embarque;
- Incremento de la altura de apilado;
- Cambio en la configuración del patio;
- Cambio de sistema operativo; y
- Cambio de equipo de patio.

De todas estas opciones la más fácil de implementar es la de reducción de los tiempos de estancia de los contenedores mientras que las más complejas y costosas son las de cambiar el TOS de la terminal y el equipo de patio.

De acuerdo con Busk (2007), si en una terminal, además de mejorar su configuración de pilas, se invierte en un cambio de equipo de patio, pueden alcanzarse incrementos de capacidad de hasta el 200%.

Por último, al contrario que la definición de la capacidad por línea de atraque que debe abordarse mediante una metodología híbrida entre el método analítico y de simulación (Monfort *et al.*, 2011b), la determinación de la capacidad de almacenamiento puede calcularse mediante un método empírico-analítico que no requiere de simulación.

No obstante, la influencia de los factores anteriormente mencionados sobre la capacidad de almacenamiento de la instalación puede abordarse con un modelo de simulación con el nivel de abstracción adecuado. El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

## **2.4. Subsistema de recepción y entrega**

### **2.4.1. Ubicación y diseño de puertas terrestres (camiones y ff.cc.)**

En una TPC hay que distinguir entre las operaciones de acceso y salida de la terminal y las de recepción y entrega de contenedores. Las primeras están asociadas al funcionamiento de las puertas terrestres y a los procedimientos de identificación de vehículos y contenedores, mientras que la recepción y entrega depende de los equipos asignados propiamente a dicha operativa y del sistema de gestión que organiza el trabajo y maneja el volumen de información vinculado al mismo (Monfort *et al.* 2011b).

Una cuestión adicional es que la recepción y entrega se entienden desde el punto de vista de la terminal y no según el transporte externo. Así una operación de recepción es aquella en la que el camión (o el ferrocarril) es descargado del contenedor que transporta, mientras que en una operación de entrega, la terminal carga un contenedor sobre el vehículo externo.

El diseño de las puertas para camiones y ferrocarril puede resolverse de diversas formas, aunque, en cualquier caso, la terminal debe disponer del espacio suficiente y debidamente acondicionado para albergar temporalmente los medios de transporte externos.

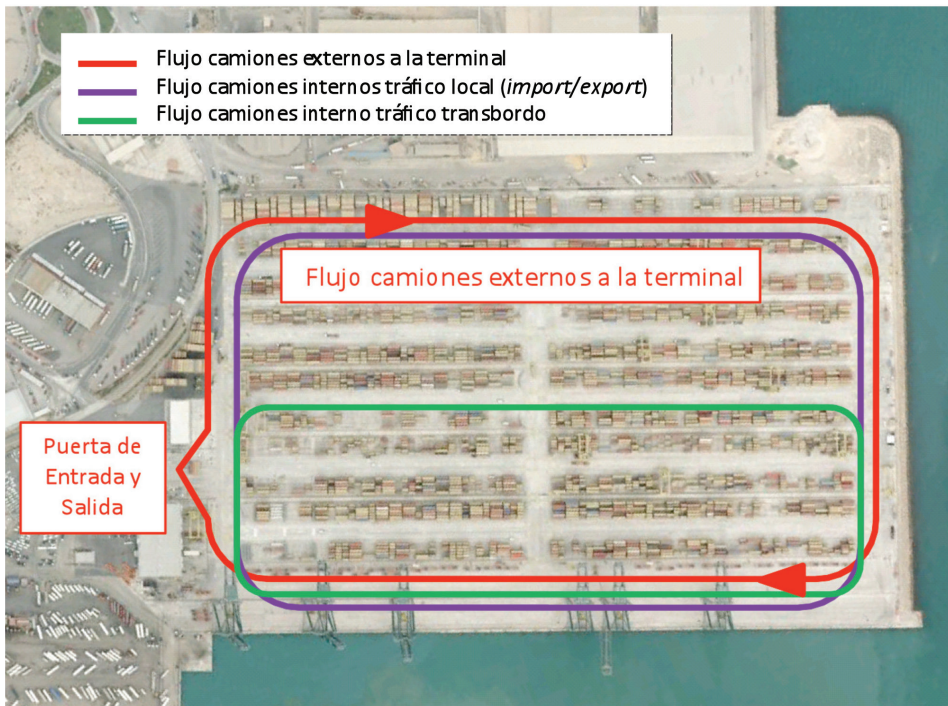
Las operativas de recepción y entrega terrestres son conceptualmente similares a la operativa de la puerta marítima: los contenedores se descargan y cargan respectivamente en camiones o ferrocarril en lugar de en buques. En este sentido es necesario tener un área dentro de la TPC habilitada para llevar a cabo este tipo de operaciones.

La forma de realizar la recepción y entrega (R/E) de camión depende del tipo de equipo de patio: puede hacerse en una zona especial de la terminal trasladando los contenedores al patio o desde él. Sería lo habitual para *straddle carriers*. Con grúas pórtico de patio, normalmente la recepción y entrega se realiza en las pilas, bien en un carril adicional al costado de las pilas, como en el caso de RTGs, o en la cabecera de las mismas, como ocurre con pórticos automáticos.

Esta operación puede ser atendida por grúas de patio específicamente asignadas para ello, o por grúas asignadas a lo que se conoce como “operación única”, es decir, que atienden tanto a la operativa marítima como a la terrestre, en general, dando prioridad a la atención al buque; esta segunda opción suele ser más común.

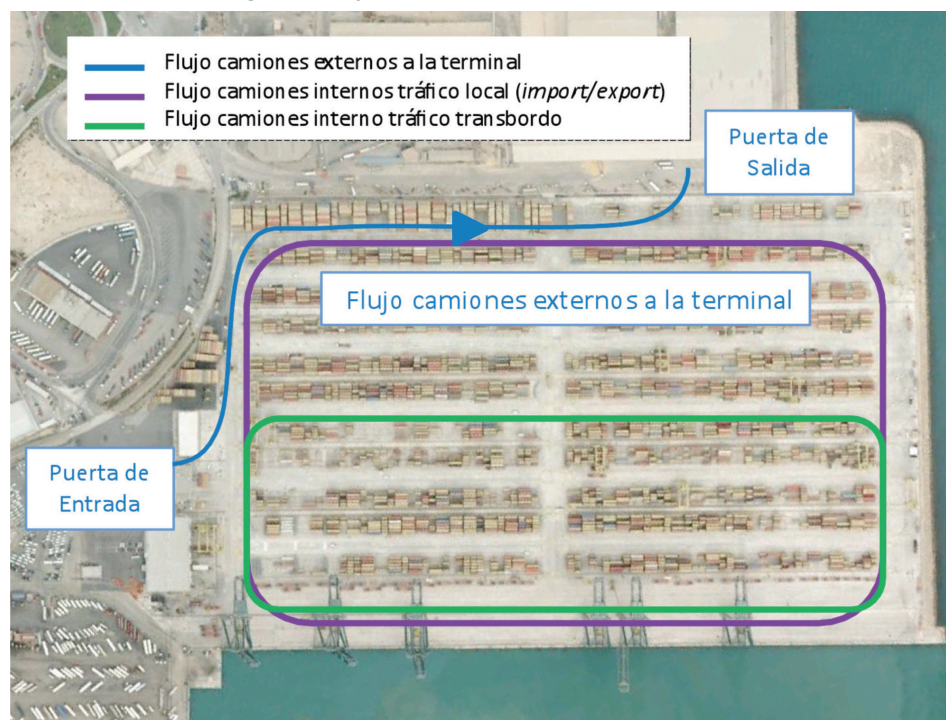
La R/E en pila resuelve la operativa terrestre de la terminal sin la necesidad de equipos auxiliares; pero por el contrario tiene la desventaja de mezclar las trayectorias de equipos de interconexión internos y camiones externos (Figura 181). Para resolver este problema se puede plantear la separación de las puertas de entrada y salida de la terminal y el trazado de un carril central (Figura 182). Con esta alternativa se pretende sustituir el flujo circular de camiones externos a la terminal por un flujo lineal que reduzca la interferencia de vehículos externos de la terminal con vehículos de interconexión de la misma. Otra alternativa en este sentido es la de separar el área de almacenamiento de contenedores de transbordo mediante un carril central por el que los camiones externos realicen el retorno.

Figura 181. *Layout* con puerta terrestre única



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de Google Earth©

Figura 182. Layout con separación de puertas terrestres



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de Google Earth©

Esta ordenación del transporte de la terminal facilita el flujo interno de camiones, simplifica la operativa de patio, descongestiona las puertas y mejora la seguridad en las operaciones al existir menos interferencias entre tráficos

En el caso del ferrocarril, como los raíles no llegan hasta el área de almacenamiento es necesario conectar la playa de vías con el patio de la terminal mediante vehículos de interconexión que pueden ser o no, los mismos que se emplean para la conexión muelle-patio.

Algunas terminales tienen una zona de almacenamiento en la zona del ferrocarril para preparar la carga, de modo que la descarga se hace directamente desde el ferrocarril al



patio de almacenamiento, pero para la carga se hace un traslado previo de los contenedores a una zona cerca de la vías con el único fin de agilizar la operativa de carga del tren (apartado 4.4.2).

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

#### **2.4.2. Definición del procedimiento documental de recepción y entrega**

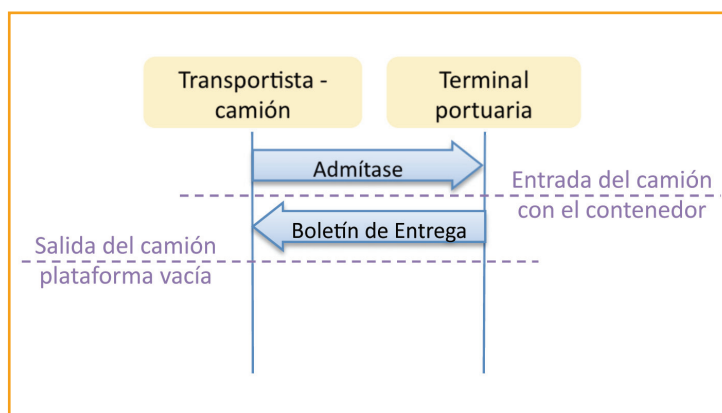
El flujo de mercancía en contenedor va indisolublemente acompañado de un flujo de información que lo posibilita. En las puertas terrestres el contenedor accede o abandona la terminal para lo cual es necesario definir el proceso de transmisión de órdenes entre el consignatario, el transportista terrestre y la terminal. Adicionalmente, la terminal genera unas órdenes internas para los equipos que deben ejecutar la operativa, y archiva la información del proceso.

##### **Transporte por carretera**

Para el proceso de entrada y descarga del camión con un contenedor, independiente de si está lleno o vacío, el transportista llega a la puerta de la terminal con el contenedor y el “Admítase”. El Admítase es el documento mediante el cual el consignatario transmite a la terminal la orden de aceptar un contenedor cargado, permitiendo su entrada y depósito para su posterior embarque en un buque determinado. Supone la transmisión de responsabilidad a la terminal y supone un contrato de depósito temporal.

En la puerta el contenedor se inspecciona y se comprueba la documentación. El transportista recibe órdenes de dónde debe dirigirse para entregar el contenedor. Posteriormente el camión abandona la terminal por la puerta terrestre donde recoge el “Boletín de Entrega” del contenedor que acredita que ha sido recibido por la terminal según lo acordado con el consignatario (Figura 183).

Figura 183. Flujo de documentación asociado a la entrada de un contenedor por carretera



Fuente: Monfort *et al.* (2011a)

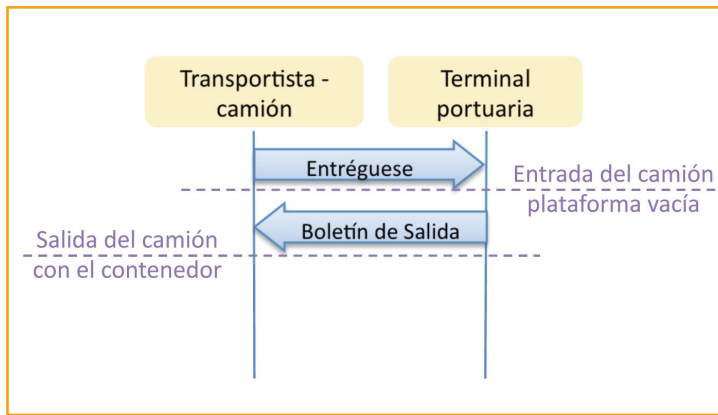
En las puertas puede haber personal que recoja el Admítase, introduzca los datos en el sistema, realice las comprobaciones necesarias y reciba las instrucciones que entrega al transportista. Algunas terminales han adoptado sistemas semiautomáticos para la recepción: existe un aparcamiento de camiones previo a la entrada donde es el propio transportista el que introduce el número de orden con un teclado o con un lector de código de barras, confirma los datos y recibe instrucciones de la terminal. Otras han implantado ya soluciones de automatización de puertas mediante sistemas OCR, RFID y de tarjetas inteligentes y biometría.

La terminal, notificada de la llegada de un contenedor, organiza la operativa de su recepción, asignando un equipo y un *slot* en pila y generando las órdenes necesarias para que el camión externo se sitúe en la posición requerida, y el equipo (de interconexión o de patio) realice la operación.

Para la carga de un contenedor en camión, el transportista llega a la puerta de la terminal con la plataforma vacía y el "Entréguese". De modo manual o automático se introducen los datos del entréguese en la puerta. El sistema organiza la operación: por una parte asigna un equipo para que recoja el contenedor de la pila y lo cargue en el camión, y por otra les da instrucciones tanto al equipo como al camión externo.

Posteriormente el camión con el contenedor abandona la terminal por la puerta terrestre, donde recibe el “Boletín de Salida” que acredita que ha recogido el contenedor. Este boletín es un documento interno de la terminal para el control de las entregas. Oficialmente solo el “Levante” permite la salida última de la mercancía del recinto aduanero (Figura 184).

Figura 184. Flujo de documentación asociado a la salida de un contenedor por carretera



Fuente: Monfort *et al.* (2011a)

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 1-2.

### Transporte por ferrocarril

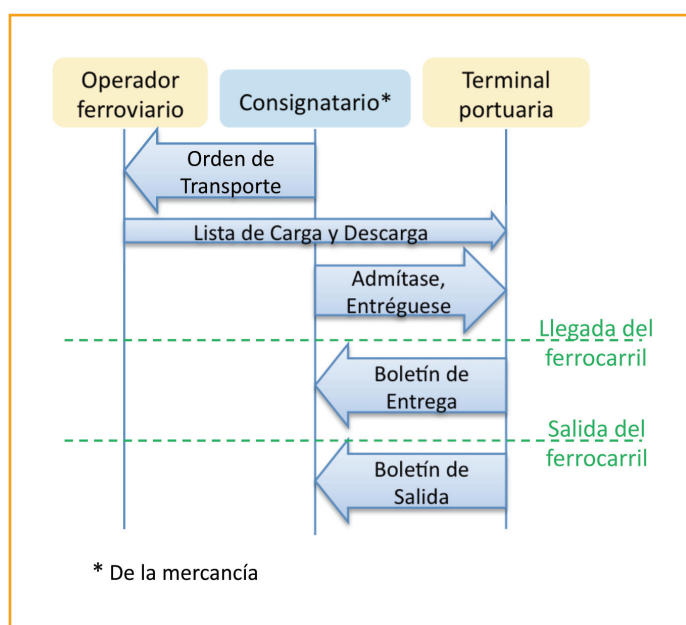
En el caso de que la recepción y entrega se realicen sobre ferrocarril la terminal recibe de forma telemática del operador ferroviario las Listas de Carga y Descarga con la información de qué contenedores debe cargar y descargar y en qué posiciones.

Paralelamente, los consignatarios de la mercancía hacen llegar a la terminal también de modo electrónico, los Admitase de los contenedores a descargar y los Entréguese de los contenedores a cargar. Sin estos documentos la terminal no está autorizada a cargar ni descargar dichos contenedores del ferrocarril. Finalmente la terminal envía los albaranes

de recepción y entrega (Boletín de Entrega y de Salida, respectivamente) a los consignatarios de la mercancía (Figura 185).

La transmisión de todos los documentos entre los agentes se realiza de forma electrónica.

Figura 185. Flujo de documentación asociado a la recepción y entrega de un contenedor de ferrocarril



Fuente: Monfort *et al.* (2011a)

## Automatización de puertas

La automatización de las puertas para camiones pretende no solo agilizar la entrada y salida de los camiones externos de la terminal mediante la instalación de sistemas RFID u OCR en las puertas, sino también anticipar la recepción de la información referente al transporte terrestre.

La recepción de esta información con la suficiente antelación, el *closing time*, y la laminación del flujo de camiones mediante sistemas de cita previa permite a las terminales organizar las operaciones de patio para que la recepción y entrega se realice de la forma más eficiente posible, reduciendo el tiempo de estancia del camión en la terminal y mejorando la gestión del patio.

En este sistema pueden incluirse también los depots lo que les reportaría las mismas ventajas que a las terminales.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 1-2.

### **2.4.3. Implantación del *closing time* y de sistemas de cita previa**

#### ***Closing time***

Normalmente los intercambios de información entre la terminal y los diferentes agentes se hacen vía EDI lo que facilita su implementación directa en los TOS de las terminales.

Algunos puertos, como el Puerto de Valencia, han decidido implantar este tipo de procedimientos para facilitar a sus terminales la planificación de las operaciones, lo que se traduce en un mejor servicio. Según la Autoridad Portuaria de Valencia, las ventajas que supone la ordenación del transporte terrestre el día anterior a la recepción/entrega o al inicio de operaciones de carga y descarga son:

- La organización y planificación del transporte terrestre con una antelación “razonable”;
- La laminación de la llegada de camiones a la terminal y por lo tanto la reducción de las colas;
- La simplificación de la operación en las puertas de la terminal;
- La planificación del patio de la terminal;
- La disminución del tiempo de estancia del camión en la terminal;
- El aumento de la productividad;
- La optimización de recursos; y,
- La mejora de la información.

Para llevar a cabo el *closing time* es necesaria una herramienta informática que conecte a todos los agentes implicados con la terminal.

La aplicación inflexible del *closing time* (apartado 9.2.1.2.1.) puede reportar beneficios a los cuellos de botella relacionados con decisiones operativas del subsistema de almacenamiento, así como a reducir el conflicto que supone la interferencia entre las operaciones marítimas y las terrestres. No obstante, la simulación de este procedimiento es complicada porque supone analizar procesos y cómo la disponibilidad de información mejora el funcionamiento de la terminal o de algún subsistema.

### **Cita previa**

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a la decisión operacional es el de Cita Previa es el 2 (apartado 9.2.1.2.2.).

## **2.5. Subsistema de interconexión**

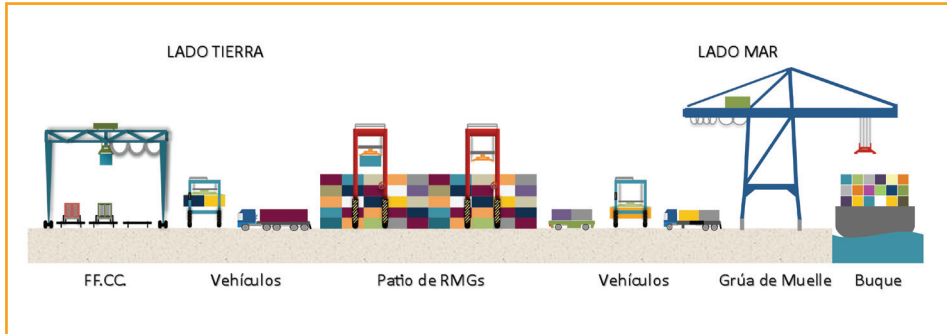
### **2.5.1. Elección de equipos de interconexión**

Así como debe elegirse el tipo de equipo para la realización de la operativa marítima y el de patio, también es necesario decidir qué tipo de equipos de interconexión van a utilizarse para los traslados entre subsistemas (Figura 186).

Los movimientos a realizar son:

- Traslado de contenedores entre el muelle y el patio;
- Traslado de contenedores entre el patio y la zona de recepción y entrega de camiones;
- Traslado de contenedores entre el patio y el ferrocarril; y
- Otros movimientos, como posicionamiento para inspección.

Figura 186. Ejemplo de solución para la interconexión en patio de RMGs



Fuente: Fundación Valenciaport

En general, los cambios de posición de los contenedores en el patio suelen realizarlos los propios equipos de patio, aunque en ocasiones es necesario el apoyo de otros medios, como ocurriría en el caso de los trabajos de *housekeeping* (organización del patio fundamentalmente para facilitar la carga de las siguientes escalas) que pueden suponer el cambio de pila de los contenedores.

La Tabla I del Capítulo 10 identifica el tipo de equipo de interconexión para cada uno de estos movimientos en función del tipo de equipo de patio.

Los vehículos de interconexión de una terminal pueden clasificarse atendiendo a su capacidad para capturar el contenedor y elevarlo por sus propios medios (equipos autoelevadores). Los equipos autoelevadores pueden izar el contenedor por sí mismos mientras que el resto de vehículos necesitan que otro equipo los cargue y descargue. Este es el motivo por el cual los vehículos autoelevadores permiten desacoplar (*decoupling*) el transporte de los contenedores del resto de operaciones, pues las grúas –de muelle o patio– depositan o recogen el contenedor del suelo –muelle o explanada– o de un medio auxiliar sin esperar al vehículo de interconexión. El número de equipos necesarios en una operativa con *decoupling* es inferior al de la operativa con vehículos que deben funcionar de modo coordinado con las grúas de muelle y patio. En el caso automatizado se necesitan hasta un 38% más de AGVs convencionales que con L-AGVs o C-AGVs, capaces de desacoplar su funcionamiento. El *decoupling* puede ser total o parcial, se puede plantear



con equipos manuales o automáticos y puede necesitar el apoyo de equipos intermedios, tal y como se comenta en el Capítulo 10.

Simultáneamente a la elección del tipo de vehículos para interconexión, cuando el patio funciona con equipos automáticos debe decidirse si se automatiza o no el transporte entre muelle y patio.

En cualquier caso, la elección del tipo de equipo debe estar basada en estudios de viabilidad económica que consideren varios tipos de maquinaria, normalmente sustentados por simulaciones de la operativa, que analicen y permitan comparar los diferentes tipos de equipos automáticos. Para la elección de un equipo u otro la terminal debe considerar factores tales como: los tiempos de descarga del buque, el grado de ocupación de los vehículos y el número de vehículos requeridos por buque o grúa. En este sentido, Vis y Harika (2005) han desarrollado un método de simulación que permite la comparación de tipos de vehículos de interconexión en una terminal de contenedores. En terminales ya existentes (no de nuevo desarrollo), es necesario que la elección considere las condiciones de contorno impuestas por el diseño y el layout de la terminal (por ejemplo la anchura de las calles de circulación puede impedir la utilización de un tipo de vehículos que en base al estudio de viabilidad económica puede resultar como la mejor opción).

Para decidir entre varios tipo de equipo de interconexión puede utilizarse un modelo de simulación de nivel 3-4.

### **2.5.2. Definición de los viales de circulación**

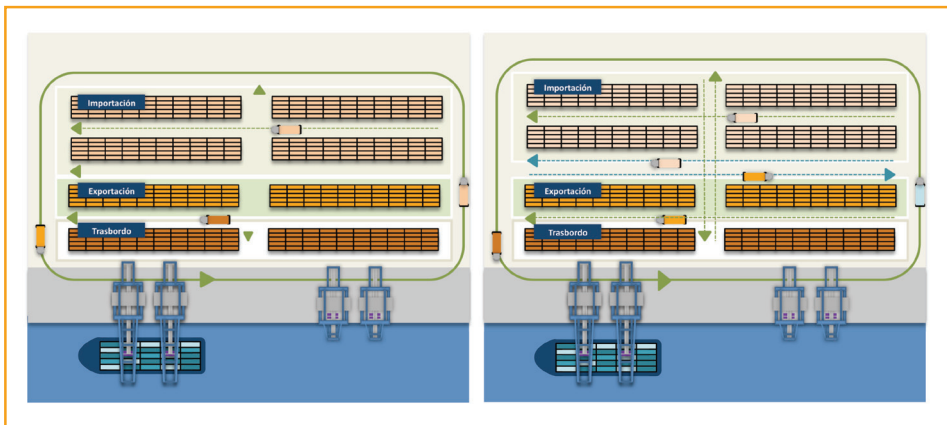
El diseño de viales de circulación tanto en la zona de operaciones marítimas como en la interconexión-muelle patio y en el patio, es otro punto a tener en cuenta a la hora de configurar la terminal. Es un aspecto directamente relacionado con la disposición de las pilas en planta, la accesibilidad de la carga, el rendimiento y la seguridad. La configuración de los viales de circulación en el patio y su anchura dependen de factores como el tamaño y el radio de giro de los vehículos o la disposición de las pilas y condicionan la densidad de apilado.

Con el diseño tradicional de pilas paralelas al muelle, la solución más sencilla son viales unidireccionales que forman un circuito cerrado en el que los vehículos circulan en una dirección por el muelle y en otra por el patio de la terminal (Figura 15 izquierda). Los

vehículos salen temporalmente de este lazo para entregar o recoger contenedores. Este diseño tiene dos grandes inconvenientes. El primero son los problemas de gestión de tráfico debido a que las trayectorias de camiones externos que van a la pila a realizar las operaciones de recepción y entrega se mezclan con las de los vehículos de interconexión que conectan el muelle y el patio. Una desventaja adicional son las grandes distancias que recorren los equipos de interconexión. Finalmente, cuando este circuito está formado por un único carril un inconveniente adicional es que los vehículos que están entregando o recibiendo un contenedor bloquean el paso de los demás.

Una alternativa para RTGs que reduce estos inconvenientes es el diseño de uno o varios carriles bidireccionales longitudinales, al menos el central, que separen la zona de contenedores de importación de las destinadas a contenedores de exportación y trasbordo (Figura 187 derecha). Además todos los carriles perpendiculares al muelle se diseñan bidireccionales. Esta solución cumple un doble objetivo: por un lado reduce en gran medida la interferencia entre los tráficos de las operativas marítima y terrestre y por otra reduce los recorridos tanto de los equipos de interconexión como de los camiones externos, con el resultado de un incremento de la seguridad. Como inconveniente, esta disposición de viales consume una superficie algo mayor que la más sencilla y por tanto supone una disminución de la capacidad de almacenamiento.

Figura 187. Trayectorias de circulación



Fuente: Vieira *et al.* (2011)

Los circuitos más complejos formados por rutas bidireccionales permiten más flexibilidad de circulación y acortar los ciclos. Por su parte, los viales multicarriles reducen la posibilidad de congestión en los viales internos.

El caso de las rutas para equipos de transporte automatizados es particular ya que estos requieren de la definición y ejecución de una red de viales que establezca de antemano los trayectos que deben recorrer.

En cualquier caso, la determinación del diseño óptimo de viales de circulación estará condicionada por la disposición de las pilas y tendrá en cuenta criterios de coste.

La definición de los viales puede estudiarse mediante simulación con un nivel de abstracción 3-4.

### **3. Nivel Táctico**

Las decisiones correspondientes a este nivel consisten en la definición de unas normas generales para el uso de los recursos, tanto en lo que se refiere a las infraestructuras (asignación de atraque, zonificación del patio de almacenamiento, organización de las pilas según varios criterios y definición de los viales internos), como respecto a los equipos y recursos humanos —estableciendo el número de trabajadores y de equipos necesarios para cada tipo de operativa—. También deben planificarse con antelación las operativas de atención a los buques (plan de estiba) y a los vehículos de transporte terrestre (camiones y ferrocarril).

Los mayores problemas a nivel táctico surgen como consecuencia de una inadecuada definición de los criterios de asignación de equipos a operaciones. De ahí la importancia de generar unas pautas para la correcta distribución de la flota de maquinaria entre los distintos procesos, tanto para la determinación del número de vehículos o grúas por operativa como en lo que al pooling se refiere.

#### **3.1. La terminal como sistema**

##### **3.1.1. Criterios generales de asignación de tipo y número de equipos y mano de obra a cada operativa**

En una terminal con equipos manuales la planificación de los equipos y de la mano de obra es esencial tanto para el control de costes como para obtener la productividad deseada.

Esta decisión, salvo en automatizaciones totales, afecta a todos los subsistemas de la terminal puesto que en todos se necesita personal para manipular los equipos y para llevar a cabo sus operaciones.

Con la información que recibe de las navieras o de los consignatarios de las Listas de carga y descarga y los planos de carga de los buques que van a escalar en la terminal, la terminal puede empezar a planificar las operaciones y así calcular el equipamiento de muelle, patio, interconexión y apoyo y la mano de obra necesarios para dichas operaciones.

El problema de asignación de tipo y número de equipos en este anexo se describe por separado para cada subsistema (apartados 3.2.2, 3.3.1 y 3.5.1). Respecto a la asignación de la mano de obra que dependerá del número de equipos asignados, cabe considerar lo siguiente:

### **Asignación de mano de obra**

Para llevar a cabo la carga y descarga de un buques es necesaria la contratación de un grupo de operarios, conocido como mano o cuadrilla. En la determinación de la mano de obra se debe calcular el número de trabajadores necesario de cada tipo o especialidad, para cada turno. En España, como en otros países, el personal de estiba, el único autorizado para la realización de las operaciones portuarias, es personal de empresas suministradoras de mano de obra, y por tanto, externo a la terminal. Además de esta limitación, otra de las restricciones a la hora de llevar a cabo la planificación viene impuesta precisamente por el sistema de turnos para la contratación del personal portuario, normalmente resultado de los acuerdos entre el sindicato de trabajadores y las terminales del puerto en cuestión. Por otra parte, la contratación de este personal es rotativa y cada trabajador puede cambiar de puesto de trabajo (por ejemplo de camionero a conductor de grúa de patio) o incluso cambiar de terminal cada vez que empieza su turno.

La definición de la cuantía de manos que son necesarias por turno, así como de personal auxiliar, en su caso, para operaciones de recepción y entrega debe determinarse de acuerdo a la planificación de las operaciones previstas en la terminal.

Los operadores de las terminales del puerto realizan la solicitud de personal portuario, es decir el número de trabajadores de cada categoría, tipo o especialidad profesional, con una antelación que depende de la jornada para la cual se necesitan los trabajadores y de si se trata de día laborable o festivo.

La planificación y contratación de mano de obra debe ser muy cuidadosa para no aumentar innecesariamente los costes de la operativa si se ha contratado demasiado personal, o para no afectar a la productividad si por lo contrario no hay suficientes trabajadores. Actualmente en torno al 70% del coste de paso de un contenedor por una terminal se corresponde al coste de la mano de obra.

Los altos costes del personal portuario y la conflictividad laboral de algunas zonas están promoviendo que algunos operadores se planteen la posibilidad de automatizar la operativa.

En conclusión, la resolución de las dificultades que supone la planificación de la mano de obra portuaria es muy complicada debido a que no está en manos de los operadores, sino que está condicionada por factores externos. La simulación no supone directamente ningún apoyo a este proceso, pero sí en el cálculo de los equipos necesarios para cada operativa. De las simulaciones con diferentes combinaciones de equipamiento se obtiene tanto el personal necesario para cada alternativa como su coste. Por eso la simulación es una buena herramienta para evaluar la conveniencia de la automatización de la terminal.

## **3.2. Subsistema de carga y descarga de buques**

### **3.2.1. Asignación de atraque**

Con carácter previo al atraque de un buque en una TPC debe realizarse la reserva del espacio en la línea de atraque para esa escala. La planificación de la asignación de los atraques empieza antes de la llegada de los buques a la terminal. Dicha planificación se realiza con el objetivo de minimizar la duración media de la escala de los buques en puerto, definida como el tiempo de servicio más el tiempo de espera y maniobra.

La definición de los puestos de atraque de una terminal, dependiendo de las limitaciones espaciales del muelle, puede realizarse de tres formas diferentes:

- Muelle fraccionado: el muelle se encuentra dividido en un número de tramos llamados atraques. Cada atraque tiene unas dimensiones predeterminadas y puede acomodar un único buque en cada momento. La división del muelle puede atender tanto al diseño de la infraestructura (muelle no continuo) como a criterios de gestión.
- Muelle continuo: no existen divisiones a lo largo de la línea de atraque, que se gestiona asignando posiciones dentro de sus límites a los buques que van llegando. Estos

muelles son infraestructuras lineales continuas. La planificación de muelles continuos es más complicada que la de los muelles discretos.

- Muelle híbrido: es un muelle que, al igual que el muelle fraccionado, está dividido en tramos pero no tiene la restricción de acomodar un solo buque por atraque. Así, dependiendo de su longitud, se podrían acomodar dos buques pequeños o un buque grande dentro del mismo.

Además de la configuración, también el calado puede fraccionar la línea de atraque en varios tramos pese a que sea una alineación continua.

Cuando la terminal tiene un muelle continuo o híbrido, caso más frecuente, la determinación del número de puestos de atraque se convierte en el problema de asignar atraque a la secuencia de buques que pretende hacer escala en la terminal.

La información necesaria para asignación de atraque son las dimensiones básicas de éste (especialmente la eslora y el calado). Así mismo, también es necesario conocer la hora prevista de llegada y la duración aproximada de la escala. En general estos datos se los proporciona el consignatario al operador de la terminal.

La solución del problema de asignación de atraque consiste en asignar a cada buque una posición en el muelle, durante un determinado periodo de tiempo intentando reducir el tiempo de espera de los buques que están esperando.

En la planificación de los atraques deben considerarse factores como las características físicas del muelle –longitud y calado, y si ambas son iguales en todo el muelle o varían según tramos–; la distribución de las llegadas, de los tiempos de servicio y de las esloras de los buques; el sistema de gestión de colas –como el FIFO (*first in-first out*), o cualquier otro– así como las normas y acuerdos de prioridades de atraque entre el operador de la terminal y las navieras; la ubicación de los distintos tipos de grúas de muelle, si no todas son iguales e incluso la ubicación de las pilas del patio correspondientes a los contenedores a cargar y descargar, para minimizar las distancias recorridas por los equipos de interconexión y así mejorar el rendimiento de la operática reduciendo la duración de la escala.

La bibliografía disponible sobre el problema de asignación de atraques es abundante y refiere diversos enfoques para tratar de aproximar la solución del problema. Henesey (2004) propone el diseño de un Sistema de Gestión para la Asignación de Atraques

(*Berth Allocation Management System*). Varios autores han propuesto modelos de simulación como herramienta para optimizar el uso de la línea de atraque.

En cualquier caso, se puede plantear un modelo de simulación que optimice la asignación de atraques con el fin de ofrecer un servicio fiable y rápido intentando minimizar la suma de los tiempos de espera y operación. El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 2.

### **3.2.2. Asignación de grúas de muelle**

La asignación de las grúas de muelle a cada buque consiste en distribuir los equipos de muelle de forma que las necesidades de carga y descarga de todos los buques sean satisfechas.

Debido a los altos costes de adquisición y mantenimiento de estos equipos normalmente las TPCs ajustan cuidadosamente el número de grúas disponibles resolviendo el conflicto de intereses entre las navieras, que demandan altos valores de productividad para reducir la duración de las escalas.

Cuando varios buques deben ser operados simultáneamente, las grúas de muelle de la TPC deben repartirse entre las operativas a realizar. Esto implica la necesidad de una decisión táctica que determine los criterios bajo los cuales se establecerán las grúas por buque dependiendo de:

- El volumen de contenedores a ser cargados y descargados por buque y su distribución a bordo; y,
- El número de grúas disponibles en cada momento, siempre bajo la premisa de que estos equipos pueden moverse a lo largo del muelle pero sin cruzarse unos con otros pues se desplazan por los mismos carriles.

Para poder operar en condiciones de seguridad, las grúas deben estar separadas entre sí una distancia mínima. Así la decisión del número de grúas que se van a utilizar dependerá del tamaño del buque aún en el caso de tener equipos ociosos.

En cambio, el problema se complica cuando la terminal tiene grúas de distintas características y tamaños. En este caso, la asignación de grúas debe hacerse conjuntamente con la asignación de atraque.



De acuerdo con Meisel (2009) el problema de asignación de grúas por buque puede subdividirse en dos incógnitas:

- La determinación del número de grúas de muelle por buque; y,
- La especificación concreta de qué grúas operan en cada puesto de atraque (teniendo en cuenta la imposibilidad de que se crucen y las necesidades del buque).

Para establecer los criterios de resolución del primer subproblema existen varias restricciones. Cada buque debe estar servido por una capacidad de carga y descarga suficiente y adecuada para realizar todas las operaciones del buque con una duración de atraque razonable para la calidad de servicio requerida por el cliente ya que, de lo contrario, por un lado se empeora el nivel de servicio asociado con la productividad del buque atracado y por otra, se producen retrasos que afectan a los buques que estén esperando ser atendidos. Para la determinación del número de grúas debe tenerse en cuenta si la estiba de los contenedores a bordo permite que varias grúas operen de forma simultánea, así como que con cada grúa asignada decrece la productividad marginal debido a problemas de interferencia entre ellas. Considerando motivos de productividad la naviera y el operador acuerdan el número mínimo de grúas, mientras que la determinación del número máximo de grúas se hace por criterios técnicos de operabilidad. Para operar un buque debe asignársele al menos una grúa.

Debe considerarse que la asignación de grúas por buque puede ser constante durante toda la operativa o no; es decir, un buque puede estar operado por las mismas grúas desde el momento del inicio hasta el final de las operaciones o el número de grúas puede variar a lo largo de operativa de carga y descarga. La asignación de grúas de muelle variable en el tiempo es una solución habitual ya que permite adecuar el nivel de los recursos asignados a la demanda de la operativa (menor al inicio y al final de la escala) y a la disponibilidad de los mismos: se pueden reasignar grúas a las operativas contiguas a medida que un buque las va liberando o tiene menos requisitos, manejando la productividad de los medios de la línea de atraque de modo conjunto.

La decisión que resuelve el segundo subproblema, qué conjunto específico de grúas se asigna a cada buque, depende principalmente de la asignación de la línea de atraque. Como se ha comentado, debido a que las grúas están montadas sobre raíles, es imposible que unas se crucen con otras, por lo que puede darse el caso de que existan grúas disponibles inactivas que no puedan asignarse a ningún buque porque no se pueden colocar en el

tramo del muelle donde se encuentra atracado. Por ello, los criterios de asignación de grúas deben tener en cuenta las posiciones relativas que ocupan los equipos a lo largo del muelle.

Finalmente, es importante que los criterios de asignación de las grúas intenten, dentro de lo posible y sin comprometer la viabilidad económica de la operativa, minimizar el número de reasignaciones de grúas y las distancias que estas se trasladan ya que estos movimientos suponen tiempos muertos y costes adicionales para la terminal.

En el caso de buques de gran capacidad y, por lo tanto de gran tamaño esta asignación de grúas se vuelve todavía más complicada e importante. Esto se debe a que en estos supuestos una mala asignación conlleva tiempos de operación excesivamente largos y estancias del buque en puerto muy superiores a las deseadas por los navieros, además que la línea de atraque está más ocupada de lo deseable y no puede dedicarse a atender a otros buques.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 2-3.

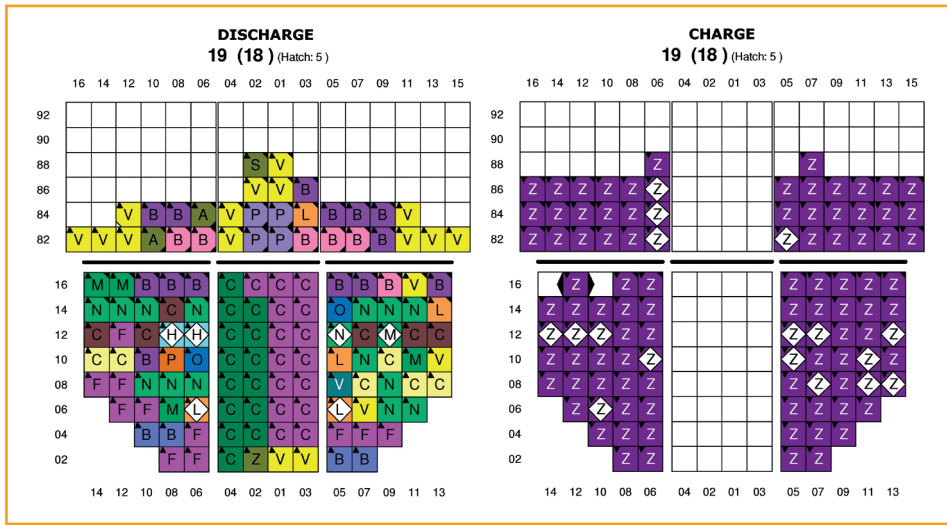
### **3.2.3. Plan de estiba y planificación de la carga y descarga de buques**

La planificación de la estiba a bordo hace referencia a la asignación de cada contenedor que debe cargarse a uno de los slots libres del buque, entendiéndose como slot cada una de las posiciones de contenedores definidas por un par de números (fila y columna) y un *bay*.

Por su parte, la planificación de las operaciones de descarga y carga de buques consiste en definir la secuencia de descarga y de carga de los contenedores de cada buque, y organizar los equipos de muelle, interconexión, y de patio, los medios auxiliares y el personal portuario necesarios para dicha operativa.

La planificación de la estiba se realiza en dos fases. En primer lugar se diseña un plan de estiba aproximado en el que se asignan clases de contenedores a los distintos *slots* teniendo en cuenta las restricciones existentes (de tamaño, de transporte de mercancías peligrosas, de necesidad de fuente de alimentación en el caso de reeferers, etc.). Posteriormente se elabora un *bayplan* en detalle en el que a cada contenedor concreto se le asigna una posición en el buque. Wilson y Roach (2000) describen detalladamente ambos niveles de planificación.

Figura 188. Bayplan de descarga y de carga de un bay de un buque



Fuente: MSC Terminal Valencia

Normalmente la primera fase la realizan las navieras ya que son ellas las que cuentan con la información respecto a cómo está cargado el buque en cada momento y cómo varía la estructura de su carga en las diferentes escalas que realiza. La planificación de la estiba por parte de una terminal consiste en la asignación de un único slot a cada contenedor de exportación respetando las instrucciones de carga y de estiba de la naviera. Para ello deben tenerse en cuenta criterios de estabilidad del buque tanto durante la navegación como durante la escala, la maximización de la capacidad de transporte, seguridad, y también de productividad de las escalas agrupando contenedores por destinos y en un orden que permita minimizar las remociones a bordo, es decir reduciendo el número de movimientos improductivos pero necesarios para acceder a contenedores que se encuentran en niveles inferiores. Estos movimientos encarecen la operativa y alargan la estancia del buque en puerto.

Por su parte, para organizar las operaciones de carga y descarga, la terminal necesita conocer además de qué contenedores debe mover, su distribución a bordo (Plano de Carga o Bayplan) y sus Instrucciones de Manipulación, así como las remociones que desee efectuar la naviera para organizar la mercancía a bordo y preparar futuras escalas.

En general en cada escala primero se efectúa la descarga de los contenedores y después la carga. La terminal establece la secuencia de descarga con la información que le suministra el consignatario, y la disponibilidad de grúas de muelle. Asigna grúas a *bays* en el orden que minimice los traslados de grúas, en función de la disponibilidad de estos equipos para cada jornada de trabajo en las que el buque será atendido.

La planificación de la secuencia de carga debe hacerse una vez se conozca el *bayplan* definitivo —salvo incidencias de última hora que hagan que un contenedor no pueda embarcar—. Para dicha planificación el operador debe considerar el tamaño del contenedor (20 o 40 pies, incluso otra longitud y si son *high cubes*), el peso —tanto por la estabilidad como por la sobrecarga que experimentan los que están en las posiciones inferiores—, y las características que restrinjan la ubicación de los contenedores en el buque, como si son de mercancías peligrosas, tipo *reefer*, sobredimensionados o tipo plataformas.

La carga y descarga sincrónica del buque complica considerablemente la planificación de las operaciones, pero combinada con el *pooling* de vehículos (apartado 10.2.1.1) minimiza el número de viajes y las distancias recorridas en vacío, lo que puede suponer grandes ahorros.

En cualquier caso, la planificación de la carga y descarga está conectada con la asignación de los equipos de muelle, de patio y de interconexión a la operativa, con el diseño de los recorridos de estos últimos, con la zonificación del patio, con el *closing time* y con la asignación de *slots*.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 4.

### 3.3. Subsistema de almacenamiento

#### 3.3.1. Asignación de grúas de patio

La asignación del número de equipos de almacenamiento necesarios dependerá de la operativa de carga y descarga de buques. Además debe considerarse que simultáneamente a ésta, deben atenderse los medios de transporte terrestre y por tanto, los equipos de patio deben apilar y desapilar los contenedores destinados a camiones y ferrocarril.

El número de equipos de patio necesarios suele calcularse en función del número de grúas de muelle y de la ubicación de los contenedores a cargar. En el caso de equipos que

además de apilar se encarguen de la conexión entre muelle y patio –como *straddle carriers* o *reachstackers*–, será necesario asignar una cantidad que garantice que la grúa de muelle no tiene que esperar a que retiren los contenedores que está descargando o que traigan desde el patio los contenedores que deben ser cargados.

En el caso de grúas pórtico, eso debe asegurarse con la asignación óptima tanto de los equipos de patio como de los de interconexión. El número máximo de pórticos que puede trabajar simultáneamente sobre cada pila es de dos, salvo que sean pórticos pasantes y uno pueda pasar por el interior del otro. Por otra parte se necesita al menos un pórtico por cada pila en la que deban ser apilados o desapilados los contenedores de cierta operativa ya que la asignación de un número menor de grúas conllevaría el traslado del equipo de una pila a otras.

Para optimizar el número de equipos y su rendimiento debe analizarse la implantación de la operación única y el *pooling* de equipos.

### **Operación única y *pooling***

La operación única consiste en que los equipos de patio atienden simultáneamente las operativas marítima y terrestre, de modo que en la secuencia de órdenes de trabajo se optimicen los recorridos de cada uno, minimizando las distancias que deben recorrer y los traslados sin contenedor. Además la optimización puede considerar reglas como darle preferencia a la atención a buques, manteniendo los tiempos de espera de los camiones en niveles razonables.

El *pooling* es una forma de gestión de equipos que consiste en la gestión combinada de todos los equipos dedicados a una misma función con el objetivo de maximizar su utilización y reducir sus costes de explotación. Puede referirse a equipos de patio, de interconexión o a ambos, pero se ha preferido tratarlo en este subsistema.

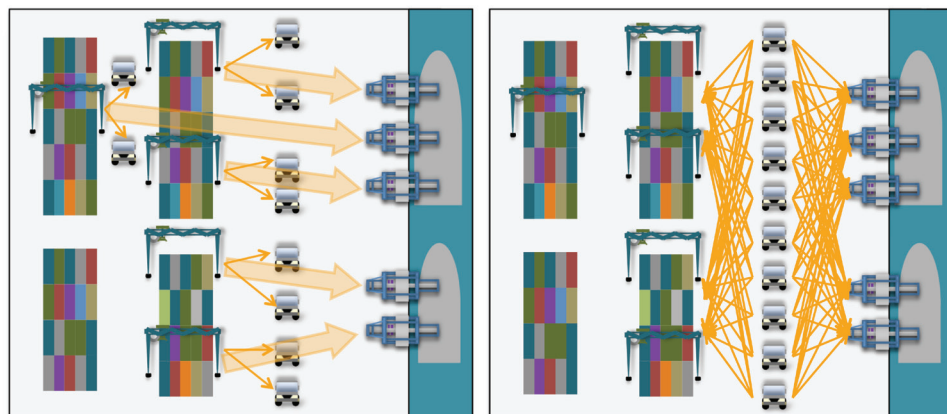
En una explotación tradicional, a cada grúa de muelle se le asigna un número de equipos de patio y de interconexión (o de equipos que hacen las dos cosas, como SCs y RSs). En cambio se puede organizar *pooling* (Figura 19)

- por buque: de modo que todos los equipos de patio y de interconexión atiendan a todas las grúas de muelle que operan el mismo buque (podría hacerse por buque pero solo para los equipos de interconexión, no para las grúas de patio); y,

- total: cualquier equipo de patio o interconexión atiende a cualquier grúa de muelle, sin importar el buque sobre el que opera.

Cada uno de estos niveles de pooling añade un grado de dificultad a la gestión y planificación de las operaciones de la terminal, pero aporta grandes beneficios a una terminal. Es necesario tener un TOS de gran capacidad para poder controlar en tiempo real la asignación óptima de equipos funcionando en *pooling*.

Figura 189. *Pooling* de equipos de patio y de interconexión



Fuente: Fundación Valenciaport adaptado de Vieira *et al.* (2011)

Con el *pooling* se consigue reducir el número de equipos requerido y optimizar los recorridos reduciendo el número de viajes en vacío y asignando cada operativa al equipo más cercano. Así los equipos de interconexión podrían atender la carga de una grúa y la descarga de otra.

Es cierto que esta modalidad de gestión del transporte aumenta las distancias recorridas por cada equipo; sin embargo reduce los recorridos en vacío por lo que, de acuerdo con Böse *et al.* (2000), consigue disminuir el tiempo de espera de las grúas y además según Murty *et al.* (2005) reduce el número de equipos requeridos para llevar a cabo la interconexión muelle-patio.

Respecto al pooling de RTGs, este permite reducir la distancia total recorrida por los equipos como resultado de su posicionamiento y por lo tanto aumentar su productividad. Actualmente, el pooling de RTGs que se lleva a cabo en la mayor parte de las terminales impone cierta rigidez a la operativa ya que a cada grúa de muelle se le asigna un RTG para servicio exclusivo de la misma dejando que el resto de RTGs de la terminal sirvan a todas las grúas. En este caso, un *pooling* total de equipos de patio también conllevaría grandes ventajas.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 4.

### 3.3.2. Zonificación del patio

Para la organización del patio generalmente se definen distintas áreas: pilas diferentes para los contenedores de importación, exportación, transbordo y vacíos, 20 y 40 pies y otras medidas, área para contenedores frigoríficos, zonas de carga y descarga del ferrocarril o para contenedores especiales, etc. Además siguiendo los criterios de seguridad establecidos en el RDL 45/1989, las mercancías peligrosas pueden almacenarse repartidas por la terminal o en una zona especial destinada para ellas (Vieira et al. 2011).

Adicionalmente a estos criterios de gestión, cada terminal puede tener en cuenta tantos factores como considere conveniente para mejorar la gestión del patio; por ejemplo, en las grandes terminales, en las pilas de importación y de exportación podrían agruparse los contenedores en función de los grandes clientes o de los servicios próximos.

Toda esta segregación incrementa las necesidades de espacio en el patio puesto que deben reservarse espacios vacíos en cada una de las zonas tanto para las próximas operativas como para poder operar. Por otra parte, en un escenario de incertidumbre, la configuración no es estática y la superficie reservada para cada una de las divisiones que se hagan debe adaptarse continuamente a las características del tráfico: distribución entre contenedores de transbordo, importación y exportación, y dentro de cada tipo los servicios que existen y el tamaño de las escalas, el porcentaje de vacíos, etc.

La división del patio en función de las divisiones de tráfico aparte de reducir la capacidad de almacenamiento, incrementa las distancias medias recorridas por los equipos de alma-



cenamiento y de interconexión, y también los recorridos en vacío con las consiguientes reducciones de rendimiento y de eficiencia energética.

Una forma de mejorar la situación es ir reduciendo el número de zonas en las que se divide el patio hasta el límite de “régimen caótico de almacenamiento”, donde un TOS de alto desarrollo asignaría la mejor ubicación para el almacenamiento de cada contenedor individual sin ninguna zonificación en el patio (salvo para los *reefers* por su necesidad de conexión eléctrica, los vacíos –que en general se manipulan con medios auxiliares y pueden almacenarse de modo masivo con menores requisitos de accesibilidad–, y algún tipo más en función de la terminal).

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 4.

### 3.3.3. Altura de apilado

La altura de apilado está condicionada por el TOS y por el equipo de patio elegido; no obstante existe cierto margen de maniobra a la hora de planificar las operaciones que permite llegar a una solución de compromiso entre las necesidades de capacidad y de productividad.

La altura de apilado está directamente relacionada con la capacidad del patio (apartado 2.3.2): a mayor altura, mayor capacidad, y menores son los desplazamientos que realizan los equipos de patio e interconexión durante la operativa para atender un mismo tráfico. Sin embargo, el número de remociones en patio de una terminal también está directamente relacionado con este factor determinante de la tasa de ocupación, ya que a mayor altura, más posibilidades hay de que el contenedor no se encuentre en el nivel superior de una pila. Además, cuantos más movimientos realice la grúa pórtico a la hora de apilar los contenedores, más lenta será la operativa.

Una alternativa para no ralentizar la operativa es realizar *housekeeping*. El *housekeeping* son remociones realizadas sin interferir con el desarrollo normal de las operaciones que permiten distribuir mejor los contenedores, atendiendo a la secuencia en la que posteriormente serán desapilados (apartado 4.3.1).

Dentro del patio de una terminal pueden determinarse diferentes alturas, asignándose a cada zona una altura diferente. Los contenedores vacíos suele apilarse a mayor altura

que los llenos por motivos de resistencia estructural y porque requieren menos accesibilidad.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

### **3.3.4. Tiempo de estancia de los contenedores**

Aunque la mayor parte de la superficie de una TPC está dedicada al almacenamiento temporal de contenedores, su misión es coordinar los distintos ritmos de llegada y salida de los contenedores en los modos marítimo y terrestre (Monfort *et al.*, 2001), no la de almacenar contenedores. A la terminal le interesa que el tiempo de estancia de los contenedores en sus instalaciones sea el mínimo posible ya que la capacidad de su patio es inversamente proporcional a esta variable. Con este objetivo las terminales suelen diseñar tarifas de almacenamiento que crecen con el paso del tiempo y que desalientan a los cargadores a utilizar esta instalación para el almacenamiento prolongado de contenedores.

Sin embargo, la minimización de la estancia de los contenedores llenos es bastante complicada ya que su salida no depende exclusivamente de la gestión de la terminal, por ello muchas TPCs centran sus esfuerzos en la minimización del tiempo de estancia de los vacíos, aunque el impulso de iniciativas como el “Levante sin papeles” permite avanzar significativamente en la reducción del tiempo de estancia de los contenedores llenos.

Los contenedores vacíos, como no contienen ningún tipo de mercancía requieren trámites aduaneros muy sencillos por lo que pueden ser trasladados a depots mientras esperan a ser utilizados.

Respecto a los contenedores llenos, una manera de acortar sus estancias es no permitir el ingreso a la terminal de contenedores con fecha de salida lejana. El closing time terrestre puede ayudar a regular esta situación para los contenedores que llegan por transporte terrestre –camión o ferrocarril–. En el caso de los contenedores de transbordo, las terminales deben procurar que las navieras no usen sus patios como almacén, evitando la descarga de contenedores que no vayan a ser embarcados en el siguiente buque de la línea comercial en la que se ha de realizar el transbordo.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

### **Aplicación útil del “Levante sin papeles”**

El “Levante sin papeles” es un procedimiento definido por la Aduana que se encuentra en funcionamiento en algunos puertos españoles como el Puerto de Valencia, pionero en su implantación en el año 2002. Este sistema simplifica la documentación que los consignatarios deben presentar para la exportación y la importación de un contenedor. Aunque no son agentes implicados en el proceso, a las TPCs les interesa la puesta en marcha de dicho procedimiento ya que permite agilizar la salida de los contenedores, sobre todo en el caso de la importación (puerta terrestre) del recinto de la terminal donde se encuentran temporalmente almacenados hasta que la Aduana los marca con circuito verde.

Esta decisión operacional cuya implementación es estratégica y estaría al nivel del *Closing Time* y los sistemas de Cita previa (2.4.3), afectaría también al subsistema de recepción y entrega.

### **3.4. Subsistema de recepción y entrega**

El subsistema de recepción y entrega terrestre resuelve la interfaz entre el modo terrestre, atendiendo a trenes y camiones externos, y la terminal. En la terminal hay que distinguir entre las operaciones de acceso y salida de la terminal y las de recepción y entrega de contenedores. Las primeras están asociadas al funcionamiento de las puertas terrestres y a los procedimientos documentales y de identificación de vehículos y contenedores analizados en el apartado 2.4.2. Este apartado y el siguiente se encargan del diseño de la recepción y entrega de contenedores propiamente dichas.

#### **3.4.1. Diseño de la recepción y entrega de camiones**

El diseño de la operativa de recepción y entrega depende del tipo de equipo de patio de la terminal y del sistema de gestión que organiza el trabajo y maneja el volumen de información vinculado al mismo. Se realiza en las pilas o en unas zonas destinadas a ese propósito.

Para terminales de carretillas o de *reachstackers*, son estas máquinas las que trasladan los contenedores entre el patio y los camiones externos y los cargan y descargan. La recepción y entrega de camiones puede hacerse en la pila o en una zona de la terminal donde estacionan. En el primer caso, y después de realizar los trámites de acceso, los

camiones llegan a la pila y la máquina transfiere el contenedor entre la pila y el camión. En el segundo caso, es necesario un tramo de interconexión entre la pila y la zona de recepción y entrega.

Si se utilizan *straddle carriers* para la manipulación en patio, la recepción y entrega de camiones se realiza en un área de la terminal destinada a ese propósito. El SC traslada el contenedor entre el patio y la zona de recepción y entrega y allí carga o descarga el camión (Figura 190).

Figura 190. Recepción y entrega de camión con *straddle carriers*



Fuente: Fantuzzi Noell Iberia S.L.U.

En el caso de pórticos tipo RTGs, la recepción y entrega de camiones la hace el propio pórtico en la pila, en un vial para ello situado, generalmente, en el lado interior de las patas del pórtico (Figura 191).

Figura 191. Recepción y entrega de camión con RTG



Fuente: Fundación Valenciaport

Para grúas de patio tipo RMG, lo usual con las pilas dispuestas perpendicularmente al cantil es que los camiones externos sean atendidos en el extremo de las pilas más alejado del mar, que además suele estar más cerca de la puerta de la terminal, mientras que en el extremo de las pilas cercano al muelle se atienden a los equipos de interconexión. Esto, como ya se ha mencionado, reduce las distancias medias recorridas por los vehículos internos e impide que se crucen las trayectorias de ambos tipos de vehículos. Una alternativa a esta disposición sería hacer la recepción y entrega en un vial situado al costado de la pila, en general del lado exterior de las patas del pórtico, que tendría una estructura en cantiléver similar a la de la Figura 192, aunque esta realmente corresponde a una operación de conexión ferrocarril-camión.



Figura 192. Recepción y entrega de camión con RMG



Fuente: Konecranes Ausió S.L.U.

Finalmente, si los pórticos son ASCs la recepción y entrega se realiza de forma semiautomática: el camión se coloca en la cabecera de la pila, en una zona separada del ASC por una valla. Una vez en posición, el conductor pulsa un botón que está en un poste y se queda fuera de la cabina. El ASC realiza la operación de modo automático, salvo los últimos metros, que los supervisa por control remoto un operador desde una torre utilizando las cámaras disponibles, de modo que un único manipulador puede operar varios ASCs (Figura 193).

Figura 193. Recepción y entrega de camión con ASCs



Fuente: Fundación Valenciaport

Finalmente cabe mencionar que el diseño de la operativa de recepción y entrega, bien en pila o en una zona destinada para ello, está relacionado con asuntos que se han descrito anteriormente como la configuración de la terminal, el tipo de equipamiento de patio, la ubicación y diseño de las puertas terrestres, el procedimiento documental de recepción y entrega y la definición de trayectorias de circulación en el interior de la terminal.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 4.

### **3.4.2. Diseño de servicio al ferrocarril**

No todas las terminales portuarias de contenedores tienen atención al ferrocarril. Dependerá por una parte de la ubicación del puerto, de su conexión con una red ferroviaria



general para el transporte de mercancías y del propio diseño de las conexiones ferroviarias dentro del puerto y por otra del tipo de tráfico de la terminal. Así una terminal cuyo tráfico principal sea el transbordo tendrá muy poco tráfico con origen o destino el hinterland del puerto, y lo habitual es que no tenga acceso ferroviario. De esta manera no se dedican recursos –superficie, equipos, sistemas de información, etc.– al ferrocarril.

El área destinada al ferrocarril suele ubicarse en la parte trasera de la terminal para evitar cruces de trayectorias con los demás equipos y camiones externos.

La terminal recibe del operador ferroviario las listas de carga y descarga con la información de qué contenedores debe descargar y cargar y en qué posiciones. Con esta información suele prepararse la operativa de carga del ferrocarril acopiando los contenedores en una zona cercana a las vías, mientras que en la descarga normalmente se trasladan los contenedores directamente desde el ferrocarril hasta la zona de almacenamiento.

Para el servicio al ferrocarril se suelen utilizar carretillas o *reachstackers*. Cuando el ferrocarril llega a la terminal estos equipos lo descargan, y normalmente trasladan directamente los contenedores al patio enlazando la recepción con la interconexión sin almacenamiento cerca del ferrocarril de los contenedores descargados. Una vez completada la descarga, se carga el tren.

Las terminales con mucho tráfico ferroviario tienen una playa de vías al fondo de la terminal y suelen usar RMGs para la carga y descarga de trenes. Esto ahorra espacio porque las vías pueden estar bastante próximas entre sí puesto que no es necesario que las carretillas accedan al costado de cada tren. En ocasiones el RMG es lo bastante grande como para abarcar el patio y las vías y realiza la transferencia directamente entre el ferrocarril y el patio. En este caso en una misma maniobra se haría la entrega, la interconexión y el apilado.

Finalmente, existen unas carretillas, las *sideloader*, especialmente apropiadas para recepción y entrega del ferrocarril en el caso de que haya poco espacio y otros tipos de carretillas no puedan acceder frontalmente a los contenedores (Figura 194). Las *sideloader* se desplazan a lo largo del tren, se colocan a lado de la plataforma a cargar o descargar, enganchan el contenedor y se lo montan encima, desplazándose siempre en paralelo al ferrocarril, sin necesidad de girar.

Figura 194. Carretilla *sideloader*



Fuente: Fantuzzi Noell Iberia S.L.U.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

### 3.5. Subsistema de interconexión

#### 3.5.1. Asignación de equipos de interconexión

La determinación del número necesario de equipos de interconexión necesarios para cada operativa es una decisión táctica que consiste en fijar los criterios en base a los cuales se asignarán los equipos concretos en el momento que se necesiten.

El problema a resolver es la necesidad de trasladar cada contenedor a su destino con unas limitaciones de rendimiento, seguridad y costes.

En la planificación de operaciones el dato de cuántos contenedores se van a cargar y descargar es conocido. También se conoce la ubicación de los contenedores a cargar y el puesto de atraque del buque. Con esta información se puede calcular el recorrido medio y el tiempo que tardan en hacerlo.

El tamaño mínimo de la flota a emplear para cada operación se puede determinar una vez se conoce el tiempo de viajes total que deben cubrir los vehículos a lo largo de la

duración de las operaciones de carga y descarga del buque considerando el tiempo neto de transporte de cada vehículo.

El tiempo de transporte neto de cada vehículo está formado por el tiempo que dicho vehículo emplea en viajes cargados. Sin embargo, el tiempo total de viaje de un vehículo está formado por: el tiempo de transporte en vacío, la duración de la operación de carga, el tiempo de transporte neto y la duración de la operación de descarga.

La duración de cada transporte neto depende de aspectos técnicos del equipo, como la velocidad y capacidad, que son función del tipo de equipo elegido, factores humanos, como la habilidad de los conductores, y aspectos referidos al diseño en planta de la terminal.

Por su parte, la duración de la carga y la descarga desde grúas de patio o de muelle depende del tipo de equipos utilizados. En el caso de una terminal de *straddle carriers* o carretillas, el mismo equipo que traslada el contenedor, es el que lo recoge en muelle o en pila y por tanto, la duración de las operaciones también dependen de las características del equipamiento.

Sin embargo, el tiempo de transporte en vacío de los equipos de interconexión es función fundamentalmente de la forma en que se gestiona la terminal, y depende en mucha menor medida de factores técnicos o de la pericia de los manipuladores. Por eso, la gestión de los recorridos en vacío resulta ser un factor de gran incidencia en la determinación del número de equipos necesarios que además es función de las características técnicas del vehículo o de la habilidad del conductor.

En caso de que no exista *decoupling*, una restricción al número mínimo de vehículos es que la grúa de muelle no debería esperar al vehículo de interconexión. En ocasiones, asignar un equipo adicional a la operativa mejora sustancialmente el rendimiento global.

La estimación del tiempo de viaje en vacío es una tarea compleja ya que requiere información acerca de la ruta fijada para los vehículos. Este tiempo depende de los criterios de asignación de tareas. Cuanto más próximos estén los puntos de recogida y de entrega de contenedores, más corto será el recorrido en vacío. Cuestiones como el *pooling* de equipos de interconexión, la operación simultánea de carga y descarga de un buque o al menos tener un buque en descarga y otro en carga con *pooling* de vehí-

culos de interconexión son medidas de gestión que reducen los recorridos en vacío y el número de equipos necesarios, aunque necesitan de un sistema de control complejo y muy avanzado.

Hay que mencionar que además de en las operativas vinculadas al buque, también se utilizan vehículos de interconexión para el traslado entre el patio y los medios de transporte terrestre –en función del equipo de patio–, para operativas de *housekeeping* (reordenamiento del patio) si hay que cambiar los contenedores de pila, o para traslados de contenedores a zonas de inspección –dentro o fuera de la terminal– o a otras terminales del puerto (operaciones de *shuttle*). En todas ellas, debe calcularse igualmente el número de equipos necesarios.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3.

### **3.5.2. Definición de sentidos de circulación y segregación de tráfico**

La decisión de definición de los sentidos de circulación y segregación de tráfico está intrínsecamente relacionada con la de diseño de los viales de circulación (apartado 2.5.2). Como se ha expuesto al desarrollar esa decisión operacional, la delimitación física de los viales es una decisión estratégica dependiente de múltiples factores relacionados con la configuración de la terminal. No obstante, una vez establecido el *layout*, tácticamente es posible definir los criterios de circulación de los vehículos de interconexión, es decir, sus trayectorias y con ellas segregar los tráfico.

Las ventajas e inconvenientes de la definición de las diferentes posibilidades de sentidos de circulación y segregación de tráfico ya han sido mencionadas al hablar del diseño de viales puesto que deben ser consideradas entonces para dimensionar las calles, sin perjuicio que *a posteriori* estos criterios puedan ser modificados dentro de las limitaciones que impone la configuración en planta de la terminal.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 3-4.

## 4. Nivel operativo

Finalmente los cuellos de botella a nivel operativo son aquellos que afectan a la asignación de recursos concretos (infraestructura, equipos, *software* y personal) en los distintos subsistemas de la terminal durante la planificación de las operaciones.

### 4.1. La terminal como sistema

#### 4.1.1. Control de equipos automáticos en tiempo real

Los equipos automáticos requieren un *software* que permite el desarrollo de las operaciones de forma automática. Para ello, debe conectar y estar compuesto por tres capas: el TOS, un *software* de gestión de la flota de equipos y el *software* de a bordo de los equipos o PLCs.

El *software* de gestión de la flota de equipos conecta el TOS con el *software* de a bordo de los equipos, permitiendo:

- Mandar instrucciones a los equipos con la mayor brevedad posible;
- Direccionar los equipos automáticos de forma rápida, eficiente y fiable, garantizando un tráfico fluido, minimizando el espacio utilizado para ello, sin puntos muertos ni colisiones;
- Transferir los contenedores entre los diferentes equipos envueltos en la operativa sin retrasos;
- Monitorizar y medir constantemente para identificar cuellos de botella potenciales; y
- Reaccionar frente a averías o mensajes de error mediante diagnósticos sencillos y reacciones proactivas.

Por su parte, el *software* de a bordo de los equipos o PLC, conectado directamente con el TOS además de mediante el *software* de gestión de flota, debe estar diseñado para:

- Aprovechar al máximo las propiedades del equipo considerando las condiciones de contorno presentes;
- Ubicar los equipos en tiempo real;
- Garantizar que el equipo ejecuta las órdenes recibidas; y
- Detectar anomalías en su funcionamiento.

El *software* de gestión de la flota de equipos y el *software* de a bordo proporcionan información en tiempo real de la que se alimenta el TOS para el desarrollo de sus funciones. El tipo de decisiones que toma el TOS a partir de dicha información son decisiones de nivel operativo, referentes a la asignación optimizada de órdenes de trabajo para cada recurso concreto.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

#### **4.1.2. Asignación de órdenes de trabajo a cada recurso concreto: optimización**

La optimización de la asignación de órdenes de trabajo a equipos es posible cuando existe información en tiempo real, es decir constantemente actualizada, de la posición de los equipos y los contenedores dentro de la terminal.

Para tomar decisiones referentes a la asignación de órdenes de trabajo a cada recurso concreto durante las operaciones de forma que se optimice el uso de los equipos, es necesario evaluar el impacto que el uso de cada uno de los recursos disponibles en la operativa tendría en un determinado momento para la ejecución de una acción concreta de forma que se pudiera, en base a unos criterios preestablecidos (tiempo, consumo energético, etc.), decidir cuál es el equipo más idóneo para llevar a cabo dicha acción.

Así, es posible, por ejemplo, minimizar el trabajo de los equipos de almacenamiento mediante la toma de decisiones a nivel operativo.

El trabajo a efectuar por los equipos de almacenamiento de una terminal depende fundamentalmente del movimiento que los equipos tengan que realizar a lo largo de las pilas y de las remociones que tengan que llevar a cabo en la pila para acceder a un contenedor en concreto. Por ello, la minimización del trabajo a efectuar por los equipos de patio de una terminal depende de:

- El traslado de los equipos en la explanada; y,
- La accesibilidad de los contenedores en pila.

La minimización de ambos criterios simultáneamente es imposible ya que para reducir el traslado, entendido como suma de distancia de todos los equipos, se requiere reducir

el espacio por el que deben desplazarse, es decir, el tamaño del patio de la terminal lo que por definición conlleva un incremento de altura en patio para poder dar la misma capacidad y por lo tanto disminución de la accesibilidad de los contenedores. La disminución de la accesibilidad de los contenedores aumenta la probabilidad de tener que llevar a cabo remociones.

En este sentido, para minimizar el trabajo a efectuar por un equipo, lo que incrementa la productividad y reduce los costes de la operativa de almacenamiento, es conveniente llevar a cabo una simulación que permita determinar la extensión adecuada del patio de la terminal dentro de los límites físicos existentes.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

No obstante, al plantear soluciones para la optimización de la asignación de órdenes de trabajo a cada recurso concreto, es necesario tener en cuenta que pueden existir ciertas limitaciones de tipo no técnico, como las relativas a la reasignación de mano de obra.

## **4.2. Subsistema de carga y descarga de buques**

### **4.2.1. Asignación dinámica de atraques**

Del mismo modo que es posible modificar la asignación de un equipo dependiendo de la información en tiempo real disponible, el muelle también se puede gestionar de forma dinámica teniendo en cuenta esta información.

Aunque el problema general de asignación de atraque a los buques que van a escalar en la terminal es una decisión táctica que se toma con bastante antelación (apartado 3.2.1), a nivel operativo debe señalarse una medida de gestión que mejora la capacidad de la línea de atraque: la asignación de recursos (personal y equipos) que consiste en utilizar un modelo de asignación de atraques dinámica en el que los tiempos de estancia de los buques en la terminal planificados en el nivel táctico varían en función del ritmo al que se están desarrollando las operaciones de carga y descarga. De este modo, cuando la operativa se desarrolle a un ritmo más lento del previsto, la duración del atraque se dilatará y retrasará la escala de los siguientes buques; y viceversa, si las operaciones de embarque y desembarque de contenedores se desarrollan más deprisa de lo previsto, el buque



podrá abandonar el puerto antes y por lo tanto los siguientes podrán ser acomodados en muelle y empezar su operación antes de lo previsto en caso de que hayan llegado a puerto. Este modelo, conectado con el TOS, permitiría a las terminales ver cómo influye el ritmo de sus operaciones en la planificación de muelle que tienen prevista y reasignar manos de unos buques a otros según convenga.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

### **4.3. Subsistema de almacenamiento**

#### **4.3.1. Asignación de slots en patio**

Como se mencionó en el apartado 3.3.2, para la organización del patio generalmente se definen distintas áreas: pilas los contenedores de importación, de exportación, de transbordo y vacíos, área para contenedores frigoríficos, zonas de carga y descarga del ferrocarril o para contenedores especiales, etc.

Con antelación a la escala del buque, se conoce la lista de descarga y por tanto los contenedores que deben almacenarse hasta que o bien salgan por la puerta terrestre, o bien sean cargados en otro buque si se trata de trasbordos. Una parte importante de la planificación de operaciones es el almacenamiento de contenedores descargados, así como de los de recepción terrestre, asignando a cada uno una posición en el patio. Para una gestión eficiente del patio, el operador debe tener en cuenta tanto el estado actual del patio como las operaciones de carga y descarga que se efectúan simultáneamente. Esta visión dinámica de la explanada permite planificar el almacenamiento de modo que los contenedores descargados ocupen posiciones que están siendo liberadas por los contenedores a cargar y así contar con más posiciones de almacenamiento de las que se dispondría si solo se tuviera en cuenta el estado estático del patio al comienzo de la operativa de descarga.

Cuando se asignan las posiciones en patio de los contenedores que deben embarcarse, tanto los que llegan por vía terrestre, como los de transbordo, hay que apilarlos en la medida de lo posible en función del buque en el que van a cargarse y de la secuencia de carga con el doble objetivo de reducir las remociones en patio y los recorridos de los equipos de interconexión durante la operativa de carga.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

#### **4.3.2. Asignación de orden de retirada de los contenedores de carga y los de entrega terrestre**

Al igual que ocurre en la secuencia de descarga de un buque o en la recepción de contenedores de transporte terrestre, el orden en que los contenedores son retirados de las pilas para su carga a bordo de buques o su entrega sobre camión es una decisión de nivel operativo que debe buscar una solución intentando minimizar el número de remociones en pila para acceder a cada contenedor, así como el desplazamiento de los equipos.

El orden en que los contenedores son retirados de pila depende directamente de la planificación de la estiba a bordo (apartado 3.2.3) si van a ser embarcados y de la estiba en patio.

La salida de los contenedores que van a abandonar la terminal en buque puede ser programada con una antelación considerable gracias a los procedimientos documentales relativos al transporte.

Cuando se trata de contenedores de importación lo habitual es que descarguen en el orden en que llegan en el buque y se apilen distribuidos aleatoriamente bien en los huecos libres existentes en la terminal o bien en el espacio reservado a esa operativa. Estos contenedores se diferencian de los de exportación y transbordo en que normalmente no se conoce el momento en que van a abandonar la terminal en camión. Por eso, la secuencia de salida de los contenedores por camión apenas puede ser planificada con unos minutos de antelación. Esto conlleva que el orden de retirada de pila de los contenedores previsto por la terminal para la carga de buques tenga que verse alterado para atender a los camiones que vienen a recoger un contenedor. No obstante, de la experiencia propia cada operador puede reconocer pautas en ciertos clientes o cargadores en cuanto al ritmo de recogida de los contenedores de importación. Así, se suelen retirar a la vez todos los contenedores de mercancías perecederas de temporada.

Existen algunas innovaciones que incrementan el margen de maniobra de las terminales a la hora de planificar la secuencia de desapilado de contenedores como la automatización de puertas.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

#### 4.3.3. Realización de *housekeeping*

La organización del patio puede suponer en ocasiones operativa de *housekeeping*.

Las listas de carga junto con el *bayplan* del buque permiten a la terminal conocer el orden en que los contenedores van a salir de su recinto así como, una vez asignado el atraque, la zona del muelle por la que van a ser embarcados. En el caso de la exportación o transbordo, los contenedores pueden estar apilados en un orden diferente al que van a ser cargados o en una ubicación alejada de la posición de atraque que se le asigna al buque. Esto disminuye el rendimiento de las grúas. Por ello es conveniente realizar operaciones de reubicación de los contenedores con el fin de situarlos en las posiciones más convenientes ajustándolas a la secuencia de carga del *bayplan*, y evitar las remociones durante la operativa marítima. Además a la TPC le interesa ubicar los contenedores a cargar en la parte de las pilas situada más cerca al muelle distribuyéndolos a lo largo de la eslora del buque (no concentrados en un único punto como suele hacerse). Esta división por zonas debe posicionar a cada contenedor en la ubicación más cercana a la sección del buque en la que tiene que ser estibado impidiendo de esta forma que unos contenedores entorpezcan la carga de otros como sucede cuando se agrupan contenedores de diferentes *bays* juntos, ya que no existen grúas trabajando en todos los *bays* simultáneamente. Esta medida maximiza la productividad de la grúa y, por lo tanto, minimiza el tiempo de estancia del buque en puerto.

Esta decisión operativa también afecta al número de vehículos de interconexión a asignar a la operativa (apartado 3.5.1) ya que acorta considerablemente las distancias que estos deben recorrer y a la determinación del número necesario de grúas de patio (apartado 3.3.1).

Las importaciones que salen por ferrocarril son un caso aparte ya que la gestión de las líneas de transporte ferroviario se asemeja más a la del buque que a la de los camiones. Por ello algunas terminales realizan operaciones de *housekeeping* con el fin de preparar la carga para este medio de transporte (apartado 4.4.2).

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

## 4.4. Subsistema de recepción y entrega

### 4.4.1. *Buffering*

Bajo el mismo principio que rige el *housekeeping* (apartado 4.3.3), preparar la carga para la operativa marítima, es posible realizar operaciones de preparación de la carga para la operativa terrestre con el ferrocarril.

El *buffering* consiste en que una vez conocidos los contenedores objeto de la operativa de carga de un ferrocarril, trasladarlos con antelación al comienzo de la misma a una zona cerca de las vías con el único fin de agilizar las operaciones y acortar la estancia del tren en la terminal.

Así mismo es posible en las operativas con camiones descargar los contenedores que van llegando en un espacio reservado para tal fin, para posteriormente redistribuirlos en las pilas del patio de la terminal.

Otra operación es la evacuación de los vacíos descargados sin pasar por el patio. Así, estos son apilados en una zona de la terminal dónde van llegando camiones a recogerlos para trasladarlos a un *depot*.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.

## 4.5. Subsistema de interconexión

### 4.5.1. Secuencia de órdenes de trabajo y elección de rutas

Las decisiones a tomar a nivel operacional respecto al sistema de interconexión se desarrollan en el apartado 10.2.1.3.

El nivel de abstracción mínimo recomendado para abordar mediante simulación de aspectos referentes a esta decisión operacional es el 5, mediante emulación.



*Para viajar lejos, no hay mejor nave  
que un libro.*

Emily Dickinson, poeta



## Bibliografía

ABELL, D.F. *Defining the business: the starting point of strategic planning*. New Jersey: Prentice Hall, 1980.

AECOM. “Port of Los Angeles Automated Container Terminal Survey (Draft)” [en línea]. Informe inédito, 2012. [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portoflosangeles.org/Board/2012/May%202012/POLA-Automation-Survey-Draft.pdf>

AENOR. *Gestión de la I+D+i*. Madrid: AENOR ediciones, 2007.

AMERICAN ASSOCIATION OF PORT AUTHORITIES (AAPA). *Environmental Management Handbook*. 1998. [en línea]. [Consulta: marzo 2012]. Disponible en: <http://www.aapa-ports.org/Issues/content.cfm?ItemNumber=989>

ANDERSON, D.R.; SWENEY, D.J.; WILLIAMS, T.A. *Métodos cuantitativos para los negocios*. 9ª ed. Madrid: Thomson Paraninfo S.A., 2004.

AUXEMA-STEMMANN. “EGD, EKIgreen@drive – Total friendly movement”. [en línea]. *Catálogo comercial*. Auxema-Stemmann Española S.A., [200-?] [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.auxema-stemmann.com/pdf/CatálogoEGD.pdf>

AV SKIPSREVEN. "Revolutionizing Container terminal automation" [en línea]. *Skip-sreven*, mayo 2009 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.skipsreven.no/artikler/artikler-2-2009/dekkmaskineri\\_og\\_tilhorende\\_utstyr/29088.html](http://www.skipsreven.no/artikler/artikler-2-2009/dekkmaskineri_og_tilhorende_utstyr/29088.html)

BALQON CORPORATION. "Balqon Corporation introduces zero-emissions mx30 class 8 electric tractor" [en línea]. Nota de Prensa, 2 de mayo de 2012 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [http://www.balqon.com/events\\_details.php?id=52](http://www.balqon.com/events_details.php?id=52)

BEDDOW, M. "More German efficiency from HHLA" [en línea]. *Ci-online*, julio 2012 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [http://www.ci-online.co.uk/news/showNews.asp?News\\_ID=33175](http://www.ci-online.co.uk/news/showNews.asp?News_ID=33175)

BHIMANI, A.K.; HSIEH, J.K. "Cranes to serve ship in the slip - Ceres Paragon Terminal, Amsterdam". En: *Proceedings Ports Conference 2001* [CD-ROM]. Norfolk: 29 de abril-2 de mayo de 2001.

BÖSE, J.; REINERS, T.; STEENKEN, D.; et al. "Vehicle dispatching at seaport container terminals using evolutionary algorithms". En: *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Sciences*, 2000.

BROMMA CONQUIP. "GREENLINE™: environmental leadership in spreaders" [en línea]. *Bromma Report*, primavera-verano 2008 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [http://www.bromma.com/source.php/1187574/Bromma\\_Report\\_Spr08\\_Web.pdf](http://www.bromma.com/source.php/1187574/Bromma_Report_Spr08_Web.pdf)

BROMMA CONQUIP. "SCS<sup>3</sup> spreader control system" [en línea]. Catálogo comercial. Broma Conquip, 2009 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [http://www.bromma.com/source.php/1146967/SCS3\\_brochure\\_090317.pdf](http://www.bromma.com/source.php/1146967/SCS3_brochure_090317.pdf)

BUSK, K. "Efficiency drive and cost reduction with new IT systems. Efficiency & performance seaport innovations". En: *Proceedings of the 5th International Marine Terminal Management Seminar: strategies & technologies for driving new operational efficiencies*. Londres: Lloyd's Maritime Academy Suite, diciembre 2007.

CAVOTEC SA. "Automated mooring systems" [en línea]. Catálogo Comercial. Cavotec SA, 2007 [Consulta: marzo 2012]. Disponible en: <http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDkQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cavotec.>



[com%2Fstatic%2Fupload%2Fmedia%2FAutomated%2520Mooring%2520Systems%2520catalogue.pdf&ei=Gfi8UKPwNcmDqQGBuoDoAQ&usg=AFQjCNFqn4ooioyRna7Qt748WtMtaCxMpQ&sig2=ti4LXw4RWBRaBtCvESYACw&cad=rjaç](http://www.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/bea8c819fb9e8d96852575ad0047ca5a/$file/abb%20crane%20systems%20meeting%20the%20demands%20of%20larger%20vessels.pdf)

CEDERQVIST, H. "Terminal automation". En: MASPORT Seminar: Automation and Simulation Methodologies for the Evaluation and Improvement of Port Container Terminals. Valencia, 10-11 de noviembre de 2011.

CHANDY, R.K.; TELLIS, G.J. "Organizing for radical product innovation: the overlooked role of willingness to cannibalize". *Journal of Marketing Research*, 1998, vol. 35, núm. 4, p. 474-487.

CHESBROUGH, H.; TEECE, D.J. "When is virtual virtuous? Organizing for innovation". *Harvard Business Review*, 1996, núm. 74, p. 65-74.

CHRISTERSON, M. "Meeting the demands of larger vessels with larger and faster cranes" [en línea]. *Port Technology International*, febrero 2011, vol. 40, p. 59-62 [Consulta: abril 2012]. Disponible en: [http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/bea8c819fb9e8d96852575ad0047ca5a/\\$file/abb%20crane%20systems%20meeting%20the%20demands%20of%20larger%20vessels.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/bea8c819fb9e8d96852575ad0047ca5a/$file/abb%20crane%20systems%20meeting%20the%20demands%20of%20larger%20vessels.pdf)

CLARKE, R. "APM Terminals – Driving innovation". En: Terminal Operations Conference (TOC).Amberes, 7-9 de junio de 2011.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Recomendación de la Comisión de 8 de mayo de 2006 sobre el fomento del uso de electricidad en puerto por los buques atracados en puertos comunitarios (Texto pertinente a efectos del EEE) (2006/339/CE). [s.l.]: *Diario Oficial de la Unión Europea*, 12 de mayo de 2006 [en línea]. [Consulta: junio 2012]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:125:0038:0042:ES:PDF>

COMISIÓN EUROPEA. Comunicación de la Comisión, de 11 de marzo de 2003, Política de la innovación: actualizar el enfoque de la Unión en el contexto de la estrategia de Lisboa (COM (2003) 112 final). No publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea [en línea]. [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/research\\_innovation/research\\_in\\_support\\_of\\_other\\_policies/n26021\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/research_innovation/research_in_support_of_other_policies/n26021_es.htm)

COMISIÓN EUROPEA. Comunicación de la Comisión, de 18 de octubre de 2007, sobre una política portuaria europea (COM (2007) 616 final) [en línea]. [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0616:FIN:ES:PDF>

COUPER, A.D. "Environmental port management". *Maritime Policy and Management*, 1992, núm. 19, vol. 2, p. 165-170.

COSS, R. *Simulación – un enfoque práctico*. México D.F.: Editorial Limusa S.A., 2003.

DE JONG, A. "An asset management view: the first automated terminal in the Middle East" [en línea]. *Port Technology International*, febrero 2012, vol. 52, p. 62-65 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/technical\\_papers/an\\_asset\\_management\\_view\\_the\\_first\\_automated\\_terminal\\_in\\_the\\_middle\\_east/E](http://www.porttechnology.org/technical_papers/an_asset_management_view_the_first_automated_terminal_in_the_middle_east/E)

ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC (ESCAP). *Assessment of the environmental impact of port development: a guide for EIA of port development*. Nueva York: Naciones Unidas, 1992.

ESTADOS UNIDOS. CUSTOMS AND BORDER PROTECTION (CBP). "Container Security Initiative (CSI) in summary". Informe inédito. Customs and Border Protection, 2011.

ETTLIE, J.E.; BRIDGES, W.P.; O'KEEFE, R.D. "Organization strategy and structural differences for radical versus incremental innovation". *Management Science*, 1984, vol. 30, núm. 6, p. 682-695.

EUROPEAN FEDERATION OF MATERIALS HANDLING (FEM). *Rules for the design of hoisting appliances*. Frankfurt am Main: VDMA, 1998.

EUROPEAN SEA PORTS ORGANIZATION. *Environmental code of practice* [en línea]. [s.l.]: European Sea Ports Organization (ESPO), 2003 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.espo.be/images/stories/Publications/codes\\_of\\_practice/ESPOEnvironmental-CodeofPractice2004.pdf](http://www.espo.be/images/stories/Publications/codes_of_practice/ESPOEnvironmental-CodeofPractice2004.pdf)

EUROPEAN SEA PORTS ORGANIZATION. *ESPO/EcoPorts Port Environmental Review 2009*. [en línea]. [s.l.]: European Sea Ports Organization (ESPO), 2010 [Consulta: mayo

2012]. Disponible en: [http://www.espo.be/images/stories/Publications/studies\\_reports\\_surveys/ESPOEcoPortsPortEnvironmentalReview2009.pdf](http://www.espo.be/images/stories/Publications/studies_reports_surveys/ESPOEcoPortsPortEnvironmentalReview2009.pdf)

EUROPEAN SEA PORTS ORGANISATION; ECOPORTS FOUNDATION. "Port environmental review 2009: executive summary". Informe inédito. Bruselas, 2010.

FISCHER, G.; PEETERS R. "Safety first!, Siemens AG – Technical workshop". En: Terminal Operations Conference (TOC). Amberes, 7-9 de junio de 2011.

FORKLIFT ACTION. "Reachstacker revolution" [en línea]. *Forkliftaction.com*, 17 de mayo de 2006 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.forkliftaction.com/news/newsdisplay.aspx?nwid=3206>

FOSSEY, J. "TCP takes control of new cranes" [en línea]. *Ci-online*, mayo 2012 [Consulta: junio 2012]. Disponible en: <http://www.ci-online.co.uk/news/showNews.asp?NewsID=32763&st=crane+speed>

GARRIDO, S. *Dirección Estratégica*. Madrid: Mc Graw Hill, 2006.

GERMANISCHER LLOYD (GL). *Container Terminal Quality Indicator standard. The concept of increasing container terminal efficiency*. Hamburgo: Germanischer Lloyd, 2008.

GIMBERT, X. "Estrategia". En: BATLLORI, G.; et al. *El MBA del ESADE*. Barcelona: Editorial Planeta, 2010.

GOLDRATT, E.M.; COX J. *The goal: a process of ongoing improvement*. 2ª ed. Rev. Great Barrington: North River Press; 1992.

GOLDRATT, E.M. *It's not luck*. Great Barrington: North River Press; 1994.

GOLDRATT, E.M.; SCHRAGENHEIM, E.; PTAK, C.A. *Necessary but not sufficient*. Great Barrington: North River Press; 2000.

GOODCHILD, A.V.; DAGANZO, C.F. "Crane double cycling in container ports: Planning methods and evaluation". *Transport Research Part B*, 2007, núm. 41, p. 875-891.

GOTTWALD PORT TECHNOLOGY. “ASC Automated Stacking Cranes. Significantly increasing productivity” [en línea]. Catálogo comercial. Gottwald Port Technology, [200-?a] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.gottwald.com/gottwald/export/gottwaldsite/galleries/Brochures/ASC\\_Brochure\\_English.pdf](http://www.gottwald.com/gottwald/export/gottwaldsite/galleries/Brochures/ASC_Brochure_English.pdf)

GOTTWALD PORT TECHNOLOGY. “Automated container transport. Proven technology from Gottwald” [en línea]. Catálogo comercial. Gottwald Port Technology, [200-?b] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.gottwald.com/gottwald/export/gottwaldsite/de/news/pdf/AGV\\_Prospekt\\_uk.pdf](http://www.gottwald.com/gottwald/export/gottwaldsite/de/news/pdf/AGV_Prospekt_uk.pdf)

GOTTWALD PORT TECHNOLOGY. “New heights in container handling Gottwald Lift AGV” [en línea]. [Consulta: agosto 2012]. Catálogo comercial. Gottwald Port Technology, [200-?c] [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: [http://www.gottwald.com/gottwald/export/gottwaldsite/galleries/Brochures/Lift\\_AGV\\_uk.pdf](http://www.gottwald.com/gottwald/export/gottwaldsite/galleries/Brochures/Lift_AGV_uk.pdf)

GOUSSIATINER, A. “In pursuit of productivity (multi spreader quayside container crane productivity model)”. *Container Management*, agosto 2007, p 38-41.

GOUSSIATINER, A. “Energy-efficient box stacking”. *Container Management*, agosto 2008a, p 57-59.

GOUSSIATINER, A. “Energy-efficient box stacking 2”. *Container Management*, agosto 2008b, p 67-69.

GOVIL, V.; SAANEN, Y.; ZHANG, A.; et al. “Maximizing Terminal Productivity through Simulation/Emulation”. En: *Navis World 2012 Conference*. San Francisco, 7-10 de octubre de 2012.

GRUNOW, M.; GÜNTHER, H.-O.; LEHMANN, M. “Strategies for dispatching AGVs at automated seaport container terminals”. *OR Spectrum*, 2006, núm. 28, vol. 4, p. 587–610.

GÜNTHER, H.-O.; KIM, K.H. *Container terminals and automated transport systems*. Berling. Springer, 2005.

GÜNTHER, H.-O.; KIM, K.H. *Container terminals and cargo systems*. Berling. Springer, 2007.

HAMBURG PORT CONSULTING GMBH (HPC); INSTITUT FÜR OPERATIONS RESEARCH UND MANAGEMENT GMBH (INFORM). “TERMINALSTAR to run Hamburg’s biggest container terminal – Case study” [en línea]. Catálogo comercial. TERMINALSTAR, [20--?] [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.terminalstar.eu/pdf/CTB.pdf>

HARRINGTON, H.J. “The new model for improvement: total improvement management”, *Management Decision*, 1995, vol. 33, núm. 3, p. 17-24.

HENESEY, L.E. *Enhancing Container Terminal Performance: A Multi Agent Systems Approach*. Kaserntryckeriet: Blekinge Institute of Technology, 2004.

HENESEY, L.E. “Multi agent systems for container terminal management”. Tesis doctoral. Blekinge Institute of Technology, Karlshamn, 2006.

HOLMGREN, C. “Remotely controlled quay cranes: safer and more productive” [en línea]. *Port Technology International*, septiembre 2011, 50 ed. [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical\\_papers/PT50-21.pdf](http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical_papers/PT50-21.pdf)

HUTCHISON PORT HOLDINGS. *We keep things moving – Annual report 2011* [en línea]. [s.l.]: Hutchison Port Holdings Trust, 2011 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.hphtrust.com/misc/ar2011/ar2011.pdf>

HYSTER COMPANY. “Reachstacker container handlers” [en línea]. Catálogo comercial. Hyster Europe, 2012 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://viewer.zmags.com/publication/0dff2a63#/0dff2a63/20>

INGERSOLL-RAND PLC. “Case study - commercial sector: Port of Felixstowe” [en línea]. Caso de estudio. Ingersoll Rand, 2012 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://security.ingersollrand.com/Downloads/Literature/Documents/Ingersoll%20Rand%20-%20Port%20of%20Felixstowe%20\(final\).pdf](http://security.ingersollrand.com/Downloads/Literature/Documents/Ingersoll%20Rand%20-%20Port%20of%20Felixstowe%20(final).pdf)

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBOURS (IAPH). *IAPH Guidelines for Environmental Planning and Management in Ports and Coastal*. Tokyo: International Association of Ports and Harbours, 1991.

ISHIKAWA, K. *Guide to quality control*. Tokio: Asian Productivity Organization, 1976.

ISL APPLICATIONS. "CHESSCON simulation – Simulation of container unit handling systems" [en línea]. Presentación comercial. ISL Applications, 2011 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.downloads.isl-applications.com/CHESSCON-Simulation.pdf>

JESTON, J.; NELIS, J. *Business Process Management: practical guidelines to successful implementations*. 2ª ed. London: Elsevier, 2008.

JÓDAR, J.L. "Nuevas técnicas optimización de movimientos y reducción de emisiones". En: Jornada sobre la comunicación inalámbrica y el movimiento de cargas en los puertos. Valencia, 6 de junio de 2012.

JORDAN, M.A. "Super Productive Cranes - Liftech Consultants Inc.". En: Terminal Operations Conference (TOC). Barcelona, 3-5 de junio de 1997.

JORDAN, M.A.; VAZIFDAR, F.R.; MCCARTHY, P.W.; et al. "Dual-hoist, tandem 40 crane considerations" [en línea]. Informe técnico. Liftech Consultants Inc. y McKay International Engineers, 2007 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.liftech.net/Publications/Cranes/Procurement%20and%20New%20Development/Dual-Hoist,%20Tandem%2040%20Crane%20Considerations.pdf>

KALMAR. "Kalmar Straddle" [en línea]. Catálogo comercial. Cargotec Finland Oy, [200-?a] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.podshop.se%2Fcontent%2F12%2Fopensearchresult.aspx%3Ffile%3DSB-SC-EN-WWW\\_L.pdf&ei=a363UNyHOPK2hAfK3ICYBg&usq=AFOQjCNGtCnJ2XAJhmOFJT2QYnTELjhl0mw&sig2=m5iOkOjmtajOiH2EXl6Xqg&cad=rja](http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.podshop.se%2Fcontent%2F12%2Fopensearchresult.aspx%3Ffile%3DSB-SC-EN-WWW_L.pdf&ei=a363UNyHOPK2hAfK3ICYBg&usq=AFOQjCNGtCnJ2XAJhmOFJT2QYnTELjhl0mw&sig2=m5iOkOjmtajOiH2EXl6Xqg&cad=rja)

KALMAR. "Kalmar Smartrail" [en línea]. Catálogo comercial. Kalmar Industries Oy Ab, [200-?b] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.rrtobe.com/salesmaterial\\_store\\_pdf\\_low\\_res/Smartrail\\_KIOY0401E-2.pdf](http://www.rrtobe.com/salesmaterial_store_pdf_low_res/Smartrail_KIOY0401E-2.pdf)

KALMAR INTELLIGENCE AND AUTOMATION. "Kalmar Smartpath® to be integrated in 23 straddle carriers in Zeebrugge" [en línea]. Caso de estudio. Kalmar Industries, 2006a [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.kalmarautomation.com/uploaded/>

[files/articles/2006\\_KAWI\\_p6-91.pdf](#)

KALMAR INTELLIGENCE AND AUTOMATION. “Brisbane, automated straddle carrier terminal enters a new dimension” [en línea]. Caso de estudio. Kalmar Industries, 2006b [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: [http://www.kalmarautomation.com/uploaded/files/articles/2006\\_KAWI\\_p6-91.pdf](http://www.kalmarautomation.com/uploaded/files/articles/2006_KAWI_p6-91.pdf)

KALMAR INTELLIGENCE AND AUTOMATION. “HHLA starts automating container terminal Burchardkai” [en línea]. Caso de estudio. Kalmar Industries, 2006c [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: [http://www.kalmarautomation.com/uploaded/files/articles/2006\\_KAWI\\_p6-91.pdf](http://www.kalmarautomation.com/uploaded/files/articles/2006_KAWI_p6-91.pdf)

KAPELSKI, R. “Introduction and Benefits of the ALP (Automatic Lashing Platform)” [en línea]. Presentación comercial. KALP Technology GmbH, 2010 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.temsb.com/assets/australia2010/RainerKapelski.pdf>

KAPLAN R.S.; NORTON, D.P. “The Balanced Scorecard – measures that drive performance”. *Harvard Business Review*, 1992, núm. 70, vol. 1, p. 71-79.

KAPLAN R.S.; NORTON, D.P. *El Cuadro de Mando Integral (the Balanced Scorecard)*. 3ª reimp. Barcelona: Gestión 2000, 1997.

KAPLAN R.S.; NORTON, D.P. *Mapas Estratégicos*. Barcelona: Gestión 2000, 2004.

KAPLAN R.S.; NORTON, D.P. *Cómo utilizar el Cuadro de Mando Integral*. Barcelona: Gestión 2000, 2005.

KAWASAKI KISEN KAISHA LTD. (“K” LINE). “Newly-developed full-automatic container twist lock for 8000TEU containerships” [en línea]. Nota de Prensa, 24 de junio de 2005 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [https://www.kline.co.jp/en/news/detail/1192826\\_1997.html](https://www.kline.co.jp/en/news/detail/1192826_1997.html)

KIECHEL, W. “Corporate strategists under fire”. *Fortune*, 1982, núm. 106, vol. 13, p. 34-39.

KIM, K.H.; JEON, S.M.; RYU, K.R. “Deadlock prevention for automated guided vehicles in automated container terminals”. *OR Spectrum*, 2006, núm. 28, vol. 4, p. 659-679.



KIM, Y.; KIM, K. "Introduction of the double trolley quayside container crane". En: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF MARITIME UNIVERSITIES (IAMU); AUSTRALIAN MARITIME COLLEGE (AMC); NIPPON FOUNDATION (ed.). *Advances in international maritime research: International Association of Maritime Universities (IAMU) Annual General Assembly no.5, Launceston, Tasmania, 8-11 November, 2004*. Launceston: Australian Maritime College (AMC), 2004.

KIM, W. C.; MAUBORGNE, R. *La estrategia del océano azul*. Barcelona: Verticales de Bolsillo, 2008.

KOENES, A. (ed.) *Toma de decisiones eficaces*. Madrid: Diaz de Santos, 1995.

KROON, R.; VIS, I.F.A. "Seriously Ceres?" [en línea]. Artículo inédito, 2005. [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://dare.uvu.vu.nl/bitstream/handle/1871/10248/20050003.pdf;jsessionid=4E6640B63B3CB2AD7D7F4EE8FFB41E8D?sequence=1>

LEHMANN, M. "Operations planning for automated transport systems in seaport container terminals". Tesis doctoral. Technical University Berlin, 2006.

LEHMANN, M.; GRUNOW, M.; GÜNTHER, H.-O. "Deadlock handling for real-time control of AGVs at automated container terminals". *OR Spectrum*, 2006, núm. 28, vol. 4, p. 631-657.

LEMANTEC. "Technical specification sheet LASSTEC – Twistlock load sensing and accident prevention system" [en línea]. Nota Técnica. Lemantec, [200-?] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.lemantec.com/product/Lasstec\\_Twistlock\\_specsheet\\_Jan\\_2010.pdf](http://www.lemantec.com/product/Lasstec_Twistlock_specsheet_Jan_2010.pdf)

LIGTERINGEN, H.; WINKEL BUITER, T.H.; VERMEER, A.B. "Ceres-Paragon container terminal in the Port of Amsterdam design and realisation of a high-productivity terminal". En: *Proceedings of PIANC 2002, 30th International Navigation Congress*. Sydney, 22-26 de septiembre de 2002.

LOXSYSTEM AB. "The RAT" [en línea]. Catálogo comercial. Loxtstem AB, 2008 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.loxsystem.com/wp-content/uploads/loxsystem-brochure-08.pdf>

MAIR, P. "ABB crane systems – Innovation forum". En: Terminal Operations Conference (TOC). Valencia, 8-10 de junio de 2010.

MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE (MPA); PSA CORPORATION Ltd. "MPA and PSA launch port technology research and development programme". Informe inédito. Singapur, 2011.

MARTÍN-SOBERÓN, A.M. "Planificación estratégica y adaptación del Cuadro de Mando Integral para terminales portuarias de contenedores". Tesina Fin de Máster. Universidad Pontificia de Comillas de Madrid, Máster en Gestión Portuaria y Transporte Intermodal, Madrid, 2010.

MASLOW, A.H. "A theory of human motivation". *Psychological Review*, 1943, núm. 50, p. 370-396. MONFORT, A. "Planning for quality: a course of action for the development of a container terminal". *Bulletin of the Permanent International Association of Navigation Congresses*, 1995, núm. 86, p. 95-111.

MEERSMANS, P.J.M.; DEKKER, R. "Operations research supports container handling". *Economics Institute Report EI*, 2001, núm. 22.

MEISEL, F. *Seaside Operations Planning in Container Terminals*. Series Contributions to management science. Berlin: Physica-Verlag (Springer), 2009.

MEURLING, L. "Spreader technology: the shape of things to come". En: Terminals Operations Conference (TOC). Rio de Janeiro, 9-10 de noviembre de 2010.

MITSUMI O.S.K. LINES (MOL). "MOL Adopts 'Hawk Eye' Transfer Crane Safety Monitoring System" [en línea]. Nota de Prensa, 3 de marzo de 2009 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.mol.co.jp/pr-e/2009/e-pr-2760.html>

MIZUNO, S.; AKAO, Y. *QFD: the customer-driven approach to quality planning and development*. Tokio: Asian Productivity Organization, 1994.

MONFORT, A. "Planning for quality: a course of action for the development of a container terminal". *Bulletin of the Permanent International Association of Navigation Congresses*, 1995, núm. 86, p. 95-111.

MONFORT, A. “Rendimiento y productividad en terminales”. En: *Terminals Operations Conference (TOC)*. Guayaquil, 16-17 de septiembre de 2008.

MONFORT, A.; AGUILAR, J.; GÓMEZ-FERRER, R.; et al. *Terminales marítimas de contenedores: el desarrollo de la automatización*. Valencia: Fundación Instituto Portuario de Estudios y Cooperación de la Comunidad Valenciana, 2001.

MONFORT, A.; MONTERDE, N.; SAPIÑA, R.; et al. *La terminal portuaria de contenedores como sistema nodal en la cadena logística*. Valencia: Fundación Valenciaport, 2011a.

MONFORT, A.; AGUILAR, J.; VIEIRA, P.; et al. *Manual de Capacidad Portuaria: aplicación a terminales de contenedores*. Valencia: Fundación Valenciaport, 2011b.

MONFORT, A.; MARTÍN-SOBERÓN, A.M.; CALDUCH, D.; MONTERDE, N. “El Cuadro de Mando Integral como herramienta de gestión para terminales portuarias de contenedores”. En: *Actas de las Ponencias de las XI Jornadas Españolas de Costas y Puertos*. Las Palmas de Gran Canaria, 5-6 de mayo de 2011c.

MULDER, S. “Energy Management Strategy for a Hybrid Container Crane”. Tesina Fin de Máster. Universidad Tecnológica de Delft, Master of Science in Systems and Control, Delft, 2009.

MURTY K.G.; LIU J.; WAN Y.W.; et al. “A decision support system for operations in a container terminal”. *Decision Support System*, 2005, núm. 39, vol. 3, p. 309-332.

NAVARRO, J.L.; SANZ, M.; VALLES, M.; et al. “Especificación de requerimientos”. En: *Proyecto de Metodologías de Automatización y Simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de terminales portuarias de contenedores (MASPORT)*. Informe inédito. Ministerio de Ciencia e Innovación, 2009. Hito 7.1.

NAVIS. “RTG Commander” [en línea]. Nota Técnica. Navis, 2011a [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.navis.com/pdf/products-datasheets/ds\\_rtg\\_commander.pdf](http://www.navis.com/pdf/products-datasheets/ds_rtg_commander.pdf)

NAVIS. “ASC Manager” [en línea]. Nota Técnica. Navis, 2011b [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.navis.com/pdf/products-datasheets/ds\\_asc\\_manager.pdf](http://www.navis.com/pdf/products-datasheets/ds_asc_manager.pdf)

NEANDROSS, E.; KAWANO, H. "Liquefied Natural Gas for a cleaner, brighter future. Low-Emission LNG Engines in Container Handling Equipment, Sound Energy Solutions" [en línea]. En: Faster Freight - Cleaner Air California 2006. Long Beach, 30 de enero - 1 de febrero de 2006 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.fasterfreightcleanerair.com/pdfs/Presentations/FFCACA2006/Erik%20Neandross%20-%20Low%20Emission%20LNG%20Engines%20in%20Container.pdf>

NIETO, J. Y tú..., ¿innovas o abdicas? 2ª ed. Valencia: Antiguos Alumnos UPV, 2010.

NIETO, M. Las innovaciones incrementales y su gestión en la empresa. *Alta Dirección*, 2000, núm. 212, p. 61-72.

NIVEN, P.R. *El Cuadro de Mando Integral paso a paso*. Barcelona: Gestión 2000, 2003.

NOELL MOBILE SYSTEMS GMBH. "Carrying values – Straddle carriers" [en línea]. Catálogo comercial. Noell Mobile Systems GmbH, [200-?] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.noellmobilesystems.com/fahrenheit/dokumente/pdf/brochures/NOELL\\_eng\\_catalogue.pdf](http://www.noellmobilesystems.com/fahrenheit/dokumente/pdf/brochures/NOELL_eng_catalogue.pdf)

NON-SYNCHRONOUS ENERGY ELECTRONICS LLC (NSEE). "A technical description of a variable speed generator system for retrofitting RTG cranes" [en línea]. Nota técnica. NonSynchronous Energy Electronics (NSEE), [200-?] [Consulta: julio 2012]. Disponible en: <http://www.nonsynchronous.com/RTG%20Presentation.pdf>

NORTH CAROLINA PORTS. "NC Ports showcase greener port operations" [en línea]. *North Carolina Ports*, septiembre 2009 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.ncports.com/news/newsletter/september-2009/>

OH, J; KOZLOV, M.; KIM, B.G.; et al. "Important Twist in Supercapacitor Research. Nanotechnology Shows Promise in Quest for Improved Power Storage Devices" [en línea]. University of Texas at Dallas, octubre 2008 [Consulta: abril 2012]. Disponible en: <http://www.utdallas.edu/news/2008/09/19-001.php>

OHNO, T. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (English translation ed.). Portland: Oregon: Productivity Press, 1988.

ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI). *MARPOL 73/78: international convention for the prevention of pollution from ships 1973*. Génova: International Maritime Organization, 1973.

ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI). *SOLAS 1974: international convention for the safety of life at sea*. Génova: International Maritime Organization, 1974.

ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI). *ISPS: international ship and port facility security code*. Génova: International Maritime Organization, 2002.

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE). *Innovation in Small and Medium Firms*. París: OCDE, 1982.

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE). *Manual de Frascati*. 6ª ed. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), 2002.

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE); EUROSTAT. *Manual de Oslo*. 3ª ed. Madrid: Grupo Tragsa, 2005.

ORPHAN, V.; MEUNCHAU, E.; GORMLEY J.; et al. "Advanced cargo container scanning technology development" [en línea]. En: 7<sup>th</sup> Marine Transportation System (MTS) Research & Technology Coordination Conference. Washington D.C., 9-13 de noviembre de 2004 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/Conferences/MTS/3A%20Orphan%20Paper.pdf>

PACECO CORPORATION. "Cable reel carrier for electrified RTG's" [en línea]. Video. Paceco Corporation, 2008 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=3TyxhUG7gw>

PACECO CORPORATION. "High productivity dock operations" [en línea]. Nota técnica. PACECO Corporation, [200-?a] [Consulta: septiembre 2012]. Disponible en: [http://www.pacecocorp.com/engineering\\_content/High\\_Productivity\\_Flyer.pdf](http://www.pacecocorp.com/engineering_content/High_Productivity_Flyer.pdf)

PACECO CORPORATION. "Camera Automation System, CAS-RTG OCR: OCR System for RTGs" [en línea]. Nota técnica. PACECO Corporation, [200-?b] [Consulta:

diciembre 2009]. Disponible en: [http://www.pacecocorp.com/systems\\_group\\_content/PACECO\\_RTGOOCR.pdf](http://www.pacecocorp.com/systems_group_content/PACECO_RTGOOCR.pdf)

PAIPAI, E. *Guidelines for Port Environmental Management*. Wallingford: HR Wallingford, 1999.

PEZZOULI, V. “Fantuzzi harbour revolution”. En. II Jornadas de Innovación en el Cluster Portuario. Valencia, 6-7 de noviembre 2008.

PIELAGE, B.A.; RIJSENBRIJ, J.C.; BOSCH, W.; et al. *Floating Cranes for Container Handling* [en línea]. [s.l.]: Centro de Investigación Portuaria de Rotterdam-Delft, 2008 [Consulta: mayo 2012] Disponible en: <https://edit.portofrotterdam.com/nl/Over-de-haven/havenontwikkeling/Port-research-centre/Documents/Floating-Cranes-for-Container-Handling.pdf>

PORT OF OAKLAND. “Port of Oakland mobile shoreside power test is a success” [en línea]. Nota de Prensa, 23 de agosto de 2007 [Consulta: junio 2012]. Disponible en: <http://www.portofoakland.com/newsroom/pressrel/view.asp?id=74>

PORT STRATEGY. “Faster, Safer and more secure” [en línea]. *Port Strategy*, mayo 2007 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/planning-and-design/automation/faster\\_safer\\_more\\_secure](http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/planning-and-design/automation/faster_safer_more_secure)

PORT STRATEGY. “Kalmar product range progression” [en línea]. *Port Strategy*, julio 2007 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/kalmar\\_product\\_range\\_progression](http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/kalmar_product_range_progression)

PORT STRATEGY. “Raptor speeds up cycle” [en línea]. *Port Strategy*, julio 2009 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/raptor\\_speeds\\_up\\_cycle](http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/raptor_speeds_up_cycle)

PORT STRATEGY. “One word makes all the difference” [en línea]. *Port Strategy*, agosto 2010a [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/news101/port-operations/safety-and-security/scanning/one-word-makes-all-the-difference>

PORT STRATEGY. “Diesel additive increases efficiency” [en línea]. *Port Strategy*, agosto 2010b [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/diesel-additive-increases-efficiency>

PORT STRATEGY. “Electric avenue” [en línea]. *Port Strategy*, abril 2011 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/cargo-handling/rubber-tyred-gantry-cranes/rtg-article2>

PORT STRATEGY. “A sizeable shopping list” [en línea]. *Port Strategy*, agosto 2011 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/cargo-handling/terminal-tractors/cost-effective>

PORT STRATEGY. “New AGVs replace first-generation vehicles” [en línea]. *Port Strategy*, septiembre 2011 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/new-agvs-replace-first-generation-vehicles>

PORT STRATEGY. “Technology distracted” [en línea]. *Port Strategy*, octubre 2011a [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/cargo-handling/automation/guiding-in-the-innovation>

PORT STRATEGY. “Get with the programme” [en línea]. *Port Strategy*, octubre 2011b [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/cargo-handling/automation/in-search-of-the-automation-axioms>

PORT STRATEGY. “Cargotec do US port automation” [en línea]. *Port Strategy*, octubre 2011c [Consulta: junio 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/cargotec-do-us-port-automation>

PORT STRATEGY. “Cargotec partnership on automation” [en línea]. *Port Strategy*, noviembre 2011 [Consulta: junio 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/news101/products-and-services/cargotec-partnership-on-automation>

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. “Productivity benefits through crane automation” [en línea]. *Port Technology International*, mayo 2008 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/technical\\_papers/productivity\\_benefits\\_through\\_crane\\_automation](http://www.porttechnology.org/technical_papers/productivity_benefits_through_crane_automation)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. “Port of Tacoma tests GPS tracking system for rail supply chain” [en línea]. *Port Technology International*, diciembre 2008 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en [http://www.porttechnology.org/news/port\\_of\\_tacoma\\_tests\\_gps\\_tracking\\_system\\_for\\_rail\\_supply\\_chain](http://www.porttechnology.org/news/port_of_tacoma_tests_gps_tracking_system_for_rail_supply_chain)



PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "Esoware and Copas: a unique combination" [en línea]. *Port Technology International*, junio 2010, vol. 46, p. 74 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/technical\\_papers/esoware\\_and\\_copas\\_a\\_unique\\_combination](http://www.porttechnology.org/technical_papers/esoware_and_copas_a_unique_combination)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "APM Terminals to retrofit and electrify RTG fleet worldwide" [en línea]. *Port Technology International*, marzo 2011 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/news/apm\\_terminals\\_to\\_retrofit\\_and\\_electrify\\_rtg\\_fleet\\_worldwide](http://www.porttechnology.org/news/apm_terminals_to_retrofit_and_electrify_rtg_fleet_worldwide)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "ALP and ALS: the automatic lashing platform and system" [en línea]. *Port Technology International*, mayo 2011 [Consulta: abril 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/technical\\_papers/efficient\\_use\\_of\\_energy\\_in\\_container\\_cranes/](http://www.porttechnology.org/technical_papers/efficient_use_of_energy_in_container_cranes/)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "APM Terminals' Maasvlakte II to pioneer container automation technology" [en línea]. *Port Technology International*, marzo 2012 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/news/apm\\_terminals\\_maasvlakte\\_ii\\_to\\_pioneer\\_container\\_automation\\_technology](http://www.porttechnology.org/news/apm_terminals_maasvlakte_ii_to_pioneer_container_automation_technology)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "Port of Tauranga orders two Super Post Panamax STS cranes from Liebherr" [en línea]. *Port Technology International*, mayo 2012a [Consulta: junio 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/news/port\\_of\\_tauranga\\_orders\\_two\\_super\\_post\\_panamax\\_sts\\_cranes\\_from\\_liebherr/](http://www.porttechnology.org/news/port_of_tauranga_orders_two_super_post_panamax_sts_cranes_from_liebherr/)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "Cutting edge multi-trailer system delivered to Manila" [en línea]. *Port Technology International*, mayo 2012b [Consulta: junio 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/news/cutting\\_edge\\_multi\\_trailer\\_system\\_delivered\\_to\\_manila/](http://www.porttechnology.org/news/cutting_edge_multi_trailer_system_delivered_to_manila/)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "Latest generation, hybrid automated guided vehicles in operation at Rotterdam" [en línea]. *Port Technology International*, junio 2012 [Consulta: junio 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/news/latest\\_generation\\_hybrid\\_automated\\_guided\\_vehicles\\_in\\_operation\\_at\\_rotterdam/](http://www.porttechnology.org/news/latest_generation_hybrid_automated_guided_vehicles_in_operation_at_rotterdam/)

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL. "Cargotec receives major order from Asciano's Port Botany terminal" [en línea]. *Port Technology International*, septiembre 2012

[Consulta: septiembre 2012]. Disponible en: <http://www.porttechnology.org/news/cargo-tec-receives-major-order-from-ascianos-port-botany-terminal/>

PORTER, M. *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. Nueva York: The Free Press, 1985.

PR NEWSWIRE. "WhereNet introduces wireless location solution for marine terminals; cost-effective system automates the processing of thousands of containers stacked in yards" [en línea]. *PR Newswire*, 21 de octubre de 2012 [Consulta: octubre 2012]. Disponible en: <http://www.prnewswire.com/news-releases/wherenet-introduces-wireless-location-solution-for-marine-terminals-cost-effective-system-automates-the-processing-of-thousands-of-containers-stacked-in-yards-72613277.html>

RAM SPREADERS. "RAM Spreaders launches new RAM PinSmart automated twistlock handling machine" [en línea]. Nota de Prensa, junio 2008 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.ramspreaders.com/news22.html>

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA (RAE). *Diccionario de la Lengua Española. Actualización 2010* [en línea]. [Consultado: septiembre 2011]. Disponible en: <http://www.rae.es/rae.html>

ROBINSON, B. "Recession may bring fire sales". *Cargo Systems*, abril 2009, p.23-27.

SAANEN, Y. "State-of-the-art technology in container terminal automation & robotization". En: Terminal Operations Conference (TOC). Tianjin-Binhai, 15-17 de marzo de 2011.

SANZ, M.; LOZANO, C.; YUSTE, D.; et al. "Prototipo de simuladores". En: Proyecto de Metodologías de Automatización y Simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de terminales portuarias de contenedores (MAS-PORT). Informe inédito. Ministerio de Ciencia e Innovación, 2011. Hito 7.3.

SAPIÑA, R. "Indicadores de calidad en terminales de contenedores". *Boletín de la Fundación Valenciaport*, 2007, núm. 34, p. 1.

SENSING, A. "MV Grids in container terminals, Siemens AG - Technical Workshop". En: Terminal Operations Conference (TOC). Amberes, 7-9 de junio de 2011.

SHANNON, R; JOHANNES, J. D. "Systems simulation: the art and science". En: *Proceedings of IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1976, vol. 6, núm. 10, p. 723-724.

SHINGO, S. *A revolution in manufacturing: the Smed system*. Portland: Oregon: Productivity Press, 1985.

SHINGO, S. *A study of the Toyota production system*. Portland: Oregon: Productivity Press, 1989.

SHIP 2 SHORE. "Double hit for Gaussin Manugistique" [en línea]. *Ship 2 Shore*, agosto 2011, núm. 31. [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.ship2shore.it/english/articolo.php?id=8441>

SIEMENS AG. "Saving fuel using ECO-RTG hybrid drive systems" En: Terminal Operations Conference (TOC). Shanghai, 18-20 de marzo de 2008.

SIEMENS AG. "I DT MC cranes SIMOCRANE ® productivity enhancement" En: Terminal Operations Conference (TOC). Valencia, 8-10 de junio de 2010.

SIMMONS, P. "Radiation portal monitor program". En: American Association of Port Authorities Port Operations and Information Technology Seminar. 28 de abril de 2005.

SONG, J-H. "A study for optimisation of double cycling in container ports" [en línea]. *Port Technology International*, mayo 2008, vol. 36 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.porttechnology.org/technical\\_papers/a\\_study\\_for\\_optimisation\\_of\\_double\\_cycling\\_in\\_container\\_ports/](http://www.porttechnology.org/technical_papers/a_study_for_optimisation_of_double_cycling_in_container_ports/)

TBA BV. "Head to head for today's state-of-the-art robotised container transportation equipment" [en línea]. *Freight International*, septiembre 2010 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: <http://www.freight-int.com/categories/container-transportation-equipment/head-to-head-for-todays-stateoftheart-robotised-container-transportation-equipment.asp>

TORRES, F; SÁEZ, J.; SÁNCHEZ, P. Guía Ecoport para la implantación de sistemas de gestión ambiental por niveles en instalaciones portuarias. Valencia: Autoridad Portuaria de Valencia, 2007.

TROZZI, C.; VACCARO, R. "Environmental impact of port activities". En: BREBBIA, C.A.; OLIVELLA, J. (ed.) *Maritime Engineering and Ports II*. Southampton: Wit Press, 2000. Water Studies Serie.

TTS PORT EQUIPMENT AB. "ZERO- Emission AGV technology developed by Numexia and TTS" [en línea]. Nota de Prensa, 14 de noviembre de 2008 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.ttsgroup.com/Pressroom/Press-releases/ZERO--Emission-AGV-technology-developed-by-Numexia-and-TTS/>

TTS PORT EQUIPMENT AB. "Grip-based auto-mooring" [en línea]. Catálogo comercial. TTS Group, [200-?a] [Consulta: marzo 2012]. Disponible en: <http://www.ttsgroup.com/Global/Grip-based-automooring.pdf>

TTS PORT EQUIPMENT AB. "Vacuum based auto mooring" [en línea]. Catálogo comercial. TTS Group, [200-?b] [Consulta: marzo 2012]. Disponible en: <http://www.ttsgroup.com/Global/Vacuum%20based%20automooring.pdf>

TULL, M. "The environmental impact of ports: an Australian case study". Presentado en: XIV International Economic History Congress. Helsinki, 21-25 de agosto de 2006

VANDERMEULEN, J.H. "Environmental trends of ports and harbours: Implications for planning and management." *Maritime Policy and Management*, 1996, núm. 23, vol. 1, p. 55-66.

VANHEULE, L.; VOLLEBREGT, S.; FEENSTRA, R.; et al. "Creating a sustainable harbour making use of regenerative braking and renewable energy sources" [en línea]. Artículo inédito. Delft University of Technology (TU Delft), 2010. [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://setstudents.com/SMEP2.pdf>

VARGAS, D.; RUOFF R. "New carbon material shows promise of storing large quantities of renewable electrical energy" [en línea]. University of Texas at Austin, septiembre 2008 [Consulta: abril 2012]. Disponible en: [http://www.me.utexas.edu/news/2008/0908ruoff\\_new\\_carbon.php](http://www.me.utexas.edu/news/2008/0908ruoff_new_carbon.php)

VDL CONTAINERSYSTEMEN BV. "Automated Guided Vehicle" [en línea]. Catálogo comercial. VDL Containersystemen bv, [200-?] [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [http://www.vdlcontainersystemen.com/data/uploads/vdl%20containersystemen/spreader/Brochure/VDL\\_Containersystemen%20AGV\\_2012-10-001.pdf](http://www.vdlcontainersystemen.com/data/uploads/vdl%20containersystemen/spreader/Brochure/VDL_Containersystemen%20AGV_2012-10-001.pdf)

VERITAINER CORPORATION. "The VeriSpreader™ Crane Mounted Solution (CMS)" [en línea]. Presentación comercial. VeriTainer Corporation, 2009. [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.veritainer.com/images/VeriSpreaderCraneMountedSolution.pdf>

VIEIRA, P.; SAPIÑA, R.; GIMÉNEZ, J.A.; et al. *Guía de EFICONT*. Valencia: Fundación Valenciaport, 2011.

VIS, I.F.A.; HARIKA, I. "Comparison of vehicle types at an automated container terminal". En: GÜNTHER, H.-O.; Kim, K.H. *Container terminals and automated transport systems*. Berlin: Springer, 2005.

VISCENCIO, H. *Economía para la toma de decisiones*. Thomson Paraninfo S.A., 2002.

WILSON, I.D.; ROACH, P.A. "Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions". *Journal of the Operational Research society*, 2000, núm. 51, p. 1248-1255.

WITTEN, E. "DFMV Cold Ironing™ - Air Pollution comparison between cold ironing and diesel auxiliary engines, Wittmar Engineering & Construction, Inc. [en línea]". En: *Faster Freight - Cleaner Air 2007*. Long Beach: 26-28 de febrero de 2007 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.fasterfreightcleanerair.com/pdfs/Presentations/FFCACA2007/3.%20Eric%20Witten%20-%20Wittmar%20Engineering.pdf>

WOODTECH. "Chipmeter 4000: sistema láser de alta precisión para medición de volumen de astillas y biomasa" [en línea]. Catálogo comercial. Woodtech, 2012 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: [s.l.]: <http://www.woodtechms.com/es/chipmeter%204000-6.pdf>

WOOLDRIDGE, C.F.; MCMULLON, C.; HOWE, V. "Environmental management of ports and harbours implementation of policy through scientific monitoring." *Marine Policy*, 1999, núm. 23, vol. 405, p. 413-425.

WORLD CARGO NEWS. "La Spezia gets Smart" [en línea]. *WorldCargo News*, julio 2000 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/html/n20000701.073340.htm>

WORLD CARGO NEWS. "Playing the power game by new rules" [en línea]. *WorldCargo News*, mayo 2006 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: [http://www.worldcargonews.com/secure/assets/nf20060720.181793\\_44bf35a11360f.pdf](http://www.worldcargonews.com/secure/assets/nf20060720.181793_44bf35a11360f.pdf)

WORLDCARGO NEWS. “NYK to build high bay container warehouse” [en línea]. *WorldCargo News*, agosto 2008 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/t20080905.513929.htm>

WORLDCARGO NEWS. “MOL adopts Hawkeye” [en línea]. *WorldCargo News*, mayo 2009 [Consulta: diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.cablestailormade.com/cables/images/stories/others/articles/TratosMarch09.pdf>

WORLDCARGO NEWS. “Eco-RTG with ultra-capacitor” [en línea]. *WorldCargo News*, julio 2009 [Consulta: abril 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/t20090822.715033.htm>

WORLDCARGO NEWS. “TERMINALSTAR on at CTB” [en línea]. *WorldCargo News*, mayo 2010 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/n20100623.153480.htm>

WORLDCARGO NEWS. “Navis tackles tandem lifts” [en línea]. *WorldCargo News*, febrero 2011, [Consulta: abril 2012]. Disponible en: <http://content.yudu.com/Library/Alrcvw/WorldCargoNewsFebrua/resources/26.htm>

WORLDCARGO NEWS. “Translifters for Savona terminal?” [en línea]. *WorldCargo News*, abril 2011, [Consulta: abril 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/t20110515.156820.htm>

WORLDCARGO NEWS. “APM Terminals plans speed” [en línea]. *WorldCargo News*, mayo 2011 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: [http://www.apmterminals.com/uploadedFiles/corporate/Media\\_Center/In\\_The\\_News/WCN\\_May\\_11\\_Fastnet\\_p57\[1\].pdf](http://www.apmterminals.com/uploadedFiles/corporate/Media_Center/In_The_News/WCN_May_11_Fastnet_p57[1].pdf)

WORLDCARGO NEWS. “TSB/Lasstec team up” [en línea]. *WorldCargo News*, junio 2011 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/t20110710.499818.htm>

WORLDCARGO NEWS. “Anti-collision from Lase” [en línea]. *WorldCargo News*, septiembre 2011 [Consulta: abril 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/n20111016.446372.htm>

WORLDCARGO NEWS. "CATOS on stream in Piraeus" [en línea]. *WorldCargo News*, febrero 2012 [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/n20120325.529731.htm>

WORLDCARGO NEWS. "Maasvlakte II equipment line-up" [en línea]. *WorldCargo News*, junio 2012 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/nf20120727.497133.htm>

WORLDCARGO NEWS. "CTA Hamburg introduces double cycling operations" [en línea]. *WorldCargo News*, julio 2012 [Consulta: julio 2012]. Disponible en: <http://www.worldcargonews.com/htm/t20120811.760843.htm>

YOUNG, B. "Bigger, Smarter, Greener" [en línea]. *Port Strategy*, enero/febrero 2006 [Consulta: mayo 2012]. Disponible en: <http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/cargo-handling/rubber-tyred-gantry-cranes/bigger, smarter, greener>

YOUNG, B. "Fantuzzi's designs for a 'harbour revolution'". *Cargo Systems*, enero-febrero 2009, p. 25-27.

YU, M.; ZHANG, Y. "Multi-agent-based Fuzzy Dispatching for Trucks at Container Terminal" [en línea]. *I.J. Intelligent Systems and Applications*, 2010, núm. 2, p. 41-47. [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://www.mecs-press.org/ijisa/ijisa-v2-n2/IJISA-V2-N2-6.pdf>

ZADEH, L.A. "Fuzzy sets". *Information and Control*, 1965, núm. 8, vol. 3, p. 338-353.

ZADEH, L.A. "Fuzzy algorithms". *Information and Control*, 1968, núm. 12, vol. 2, p. 94-102.

ZHOU, P.; KANG, H.; LIN, L. "A fuzzy model for scheduling equipments handling out-bound container in terminal". *Intelligent Control and Automation*, 2006, vol. 2, p. 7267-7271.

ZRNIĆ, N.; PETKOVIĆ, Z.; BOŠNJAK, S. "Automation of Ship-To-Shore container cranes: a review of State-of-the-Art" [en línea]. *FME Transactions*, 2005, vol. 33, num. 3, p. 111-121. [Consulta: agosto 2012]. Disponible en: <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1450-8230/2005/1450-82300503111Z.pdf>



## **Recursos Web**

- ABB Group [Consulta: agosto 2012]: [www.abb.com](http://www.abb.com)
- APM Terminals Management B.V. [Consulta: junio 2012]: [www.apmterminals.com](http://www.apmterminals.com)
- Auxema-Stemmann [Consulta: agosto 2012]: [www.auxema-stemmann.com](http://www.auxema-stemmann.com)
- Axxess International Inc. [Consulta: agosto 2012]: [www.axcessinc.com](http://www.axcessinc.com)
- Balqon Corporation [Consulta: julio 2012]: [www.balqon.com](http://www.balqon.com)
- Bromma Conquip [Consulta: abril 2012]: [www.bromma.com](http://www.bromma.com)
- Buiscar Cargo Solutions [Consulta: abril 2012]: [www.buiscar.com](http://www.buiscar.com)
- Camco Technologies [Consulta: agosto 2012]: [www.camco.be/camco](http://www.camco.be/camco)
- Capacity of Texas Inc. [Consulta: mayo 2012]: [www.capacitytexas.com](http://www.capacitytexas.com)
- Cargotec Corporation [Consulta: octubre 2012]: [www.cargotec.com](http://www.cargotec.com)
- Cavotec SA [Consulta: agosto 2012]: [www.cavotec.com](http://www.cavotec.com)
- Celtec Rail Pty Ltd. [Consulta: julio 2012]: [www.celtec.com.au](http://www.celtec.com.au)
- China International Marine Containers (Group) Ltd. (CIMC) [Consulta: agosto 2012]: [www.cimc.com](http://www.cimc.com)
- Cosmos [Consulta: agosto 2012]: [www.cosmos.be](http://www.cosmos.be)
- Crane Carrier Company: [Consulta: mayo 2012]: [www.cranecarrier.com](http://www.cranecarrier.com)
- CVS Ferrari srl [Consulta: agosto 2012]: [www.cvsferrari.com](http://www.cvsferrari.com)
- DieselNet [Consulta: julio 2012]: [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)
- Dutch Lanka Trailer Manufacturers Ltd. [Consulta: agosto 2012]: [www.dutchlanka-trailers.lk](http://www.dutchlanka-trailers.lk)
- Elme Spreader AB [Consulta: abril 2012]: [www.elme.com](http://www.elme.com)
- Esoware [Consulta: marzo 2012]: [www.esoware.com](http://www.esoware.com)
- Euromot [Consulta: agosto 2012]: [www.euromot.org](http://www.euromot.org)
- Europe Container Terminals (ECT) [Consulta: octubre 2012]: [www.ect.nl](http://www.ect.nl)
- Fabrisem [Consulta: abril 2012]: [www.fabrisem.com](http://www.fabrisem.com)
- Gaussin Manugistique [Consulta: agosto 2012]: [www.gaussin.com](http://www.gaussin.com)
- GIGA [Consulta: abril 2012]: [giga.cps.unizar.es](http://giga.cps.unizar.es)
- Google Earth©
- Greenwave [Consulta: marzo 2012]: [www.greenwave.no/gwi](http://www.greenwave.no/gwi)
- Hamburg Port Consulting GmbH (HPC) [Consulta: agosto 2012]: [www.hamburg-portconsulting.de](http://www.hamburg-portconsulting.de)
- Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA) [Consulta: octubre 2012]: <http://hhla.de/en>
- Hi-Tech Solutions Ltd. (HTS) [Consulta: abril 2012]: [www.htsol.com](http://www.htsol.com)
- Houcon Group [Consulta: abril 2012]: [www.houcon-group.com](http://www.houcon-group.com)

- Hyster Company [Consulta: agosto 2012]: [www.hyster.com](http://www.hyster.com)
- Identec Solutions [Consulta: agosto 2012]: [www.identecsolutions.com](http://www.identecsolutions.com)
- IDTechEx [Consulta: junio 2012]: [www.idtechex.com](http://www.idtechex.com)
- INFORM GmbH [Consulta: octubre 2012]: [www.inform-software.com](http://www.inform-software.com)
- Ingersoll-Rand plc [Consulta: mayo 2012]: [company.ingersollrand.com](http://company.ingersollrand.com)
- ISL Applications GmbH [Consulta: agosto 2012]: [www.isl-applications.com](http://www.isl-applications.com)
- Jade Software [Consulta: junio 2012]: [www.jadeworld.com](http://www.jadeworld.com)
- KALP Technology GmbH [Consulta: abril 2012]: [www.kalp-gmbh.eu](http://www.kalp-gmbh.eu)
- Konecranes [Consulta: agosto 2012]: [www.konecranes.com](http://www.konecranes.com)
- LASE GmbH Industrielle Lasertechnik [Consulta: mayo 2012]: [www.lase.nl](http://www.lase.nl)
- Lasstec Sarl [Consulta: junio 2012]: [www.lasstec.com](http://www.lasstec.com)
- Lemantec International Sarl [Consulta: junio 2012]: [www.lemantec.com](http://www.lemantec.com)
- Liebherr-Werk Nenzing GmbH [Consulta: mayo 2012]: [www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)
- Loxystem AB [Consulta: mayo 2012]: [www.loxystem.com](http://www.loxystem.com)
- MAFI Transport-Systeme GmbH [Consulta: marzo 2012]: [www.mafi.eu](http://www.mafi.eu)
- Magnum Trailer & Equipment Inc. [Consulta: junio 2012]: [www.magnumtrailer.com](http://www.magnumtrailer.com)
- MES Liften BV [Consulta: abril 2012]: [www.mesliften.nl](http://www.mesliften.nl)
- Metalcraft Inc. [Consulta: junio 2012]: [www.idplate.com](http://www.idplate.com)
- Mitsubishi Heavy Industries Ltd. [Consulta: junio 2012]: [www.mhi.co.jp](http://www.mhi.co.jp)
- Motorola Solutions Inc. [Consulta: abril 2012]: [www.motorolasolutions.com](http://www.motorolasolutions.com)
- Navis [Consulta: mayo 2012]: [www.navis.com](http://www.navis.com)
- Noell Mobile Systems GmbH [Consulta: junio 2012]: [www.noellmobilesystems.com](http://www.noellmobilesystems.com)
- North Carolina State Ports Authority [Consulta: junio 2012]: [www.ncports.com](http://www.ncports.com)
- Novatech [Consulta: abril 2012]: [www.novatech.dk](http://www.novatech.dk)
- Orlaco Products B.V. [Consulta: abril 2012]: [www.oralco.nl](http://www.oralco.nl)
- PACECO Corporation [Consulta: junio 2012]: [www.pacecocorp.com](http://www.pacecocorp.com)
- Portel Servicios Telemáticos [Consulta: junio 2012]: [www.portel.es](http://www.portel.es)
- Proyecto MASPORT [Consulta: febrero 2012]: [www.masport.es](http://www.masport.es)
- PSA Singapore [Consulta: mayo 2012]: [www.singaporepsa.com](http://www.singaporepsa.com)
- RAM Spreaders [Consulta: mayo 2012]: [www.ramspreaders.com](http://www.ramspreaders.com)
- RFIND Systems Inc. [Consulta: octubre 2012]: [rfind.com](http://rfind.com)
- RIMA srl [Consulta: junio 2012]: [www.rima.com.bo](http://www.rima.com.bo)
- SAIC [Consulta: junio 2012]: [www.saic.com](http://www.saic.com)
- Sany Group [Consulta: julio 2012]: [www.sanygroup.com](http://www.sanygroup.com)
- Savi [Consulta: julio 2012]: [www.savi.com](http://www.savi.com)
- Science Photo Library Ltd. [Consulta: junio 2012]: [www.sciencephoto.com](http://www.sciencephoto.com)

- SEACOM Trailer Systems [Consulta: junio 2012]: [www.seacom-trailer.com](http://www.seacom-trailer.com)
- Shanghai Zhenhua Heavy Industry Co. Ltd. (ZPMC) [Consulta: octubre 2012]: [www.zpmc.com](http://www.zpmc.com)
- Shenzhen Aerospace Innotech Co., Ltd. [Consulta: marzo 2012]: [www.htrfid.com](http://www.htrfid.com)
- Ship's Equipment Centre (SEC) Bremen GmbH [Consulta: abril 2012]: [www.sec-bremen.de](http://www.sec-bremen.de)
- SICK AG [Consulta: julio 2012]: [www.sick.com](http://www.sick.com)
- Siemens AG [Consulta: junio 2012]: [www.automation.siemens.com](http://www.automation.siemens.com)
- Stemmann Technik GmbH [Consulta: junio 2012]: [www.stemmann.de](http://www.stemmann.de)
- Stinis Group [Consulta: julio 2012]: [www.stinis.com](http://www.stinis.com)
- SweFrame Port Equipment AB [Consulta: julio 2012]: [www.sweframe.se](http://www.sweframe.se)
- Taiyo Seiki Iron Works Co. Ltd. [Consulta: abril 2012]: [www.taiyoseiki.co.jp](http://www.taiyoseiki.co.jp)
- TBA [Consulta: junio 2012]: [www.tba.nl](http://www.tba.nl)
- TEC Container S.A. [Consulta: abril 2012]: [www.teccontainer.com](http://www.teccontainer.com)
- Terberg Benschop B.V. [Consulta: abril 2012]: [www.terbergbenschop.nl](http://www.terbergbenschop.nl)
- Terex Corporation [Consulta: julio 2012]: [www.terex.com](http://www.terex.com)
- TERMINALSTAR [Consulta: junio 2012]: [www.terminalstar.eu/terminalstar.htm](http://www.terminalstar.eu/terminalstar.htm)
- Total Soft Bank (TSB) [Consulta: mayo 2012]: [www.tsb.co.kr](http://www.tsb.co.kr)
- TTS Port Equipment AB [Consulta: abril 2012]: [www.ttsgroup.com/Companies/TTS-Port-Equipment-AB](http://www.ttsgroup.com/Companies/TTS-Port-Equipment-AB)
- VDL Containersystemen bv [Consulta: julio 2012]: [www.vdlcontainersystemen.com](http://www.vdlcontainersystemen.com)
- Veritainer Corporation [Consulta: junio 2012]: [www.veritainer.com](http://www.veritainer.com)
- Wittmar Engineering and Construction Inc. [Consulta: junio 2012]: [www.wittmanconstruction.com](http://www.wittmanconstruction.com)
- Yantai Huadong Soft-Tech [Consulta: septiembre 2012]: [www.huadong.net](http://www.huadong.net)



*Innovaciones tecnológicas y de gestión en Terminales  
Portuarias de Contenedores*

La presente monografía completa la trilogía de resultados tangibles del proyecto “MASPORT: Metodologías de automatización y simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de terminales portuarias de contenedores” que ha contado con financiación del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i) 2008-2011, sumándose al conjunto de las dos anteriores publicadas bajo los títulos de “La Terminal Portuaria de Contenedores como sistema nodal en la cadena logística” y el “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores”.

En este documento se clasifican las innovaciones en terminales de contenedores desde tres perspectivas: por un lado en el contexto de la planificación y gestión como necesidades estratégicas; por otro, por su empleo vinculado a uno de los subsistemas de la terminal o a su conjunto; y, paralelamente, desde la dimensión que da título a la monografía, en innovaciones tecnológicas y de gestión que se corresponde con la clasificación de AENOR (2007).

El objetivo de esta monografía es presentar de forma sistematizada tales innovaciones tecnológicas y de gestión desarrolladas en las terminales portuarias de contenedores para el impulso de la línea estratégica de su modernización aportando competitividad a las cadenas logísticas de contenedores donde quedan emplazadas como relevantes elementos nodales.