

CAPÍTULO 3

ESTADO DEL ARTE

3.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se hace una revisión a la literatura específica del subsistema de recepción y entrega y el uso de las simulaciones para optimizar sus procesos.

En primer lugar se analizarán los estudios realizados sobre capacidades portuarias y niveles de servicio. Un buen conocimiento sobre estos parámetros y sus variables más destacadas permitirán a las autoridades portuarias y estatales hacer una planificación estratégica adecuada que permita reducir las pérdidas económicas generadas por las demoras en este subsistema, que aunque a simple vista no tienen una magnitud tan considerable como las del subsistema de carga y descarga, repercuten en el desempeño del puerto y su competitividad frente al mercado.

Posteriormente se realizará una revisión bibliográfica sobre el uso de la simulación para analizar el subsistema de recepción y entrega.

3.2 NIVELES DE SERVICIO Y CAPACIDADES

3.2.1 Introducción

Los conceptos de capacidad y nivel de servicio siempre han estado muy relacionados entre ellos, y es por este motivo que su análisis debe entenderse tanto desde el punto de vista del usuario como de aquellos que prestan el servicio, llegando a un equilibrio entre ambas partes.

La capacidad, a nivel portuario, corresponde a la cantidad máxima de mercancía que se puede mover en la terminal, dadas sus características y en un tiempo específico.

El nivel de servicio refleja la calidad percibida por el usuario, siendo un valor subjetivo ya que no todos los clientes conciben de la misma forma el servicio prestado y dependen también de sus propias necesidades. El concepto de nivel de servicio fue desarrollado para dar una medida del confort o calidad que reciben los usuarios de un determinado servicio e introducido por primera vez el 1965 en el manual de *Highway Capacity*, dónde se ofrecía una categorización para los niveles de servicio en carreteras, autopistas, calles, etc. Más adelante fue aplicado al transporte aéreo gracias a la colaboración de IATA (*Internacional Air Transport Association*) y otras instituciones reconocidas.

Aplicando estos conceptos a nuestro ámbito de estudio, la capacidad del subsistema de recepción y entrega refleja el número de camiones que pueden ser atendidos por la terminal en un período de tiempo. Conocida la capacidad y el ritmo de llegada de los camiones se podrá establecer los tiempos de espera sufridos por los transportistas y según la opinión de estos se definirá el nivel de servicio ofrecido por el subsistema.

3.2.2 Estudios previos

Desafortunadamente muy pocos autores se aventuran a la medición real de esa mencionada “capacidad portuaria”, del nivel de servicio ofrecido por el puerto y por supuesto, mucho menos llegan a analizar estos indicadores en cada uno de los 4 subsistemas analizados por *Henesey (2004)*, el de carga y descarga, el de interconexión, el de almacenamiento y el de recepción y entrega, debido en gran medida a la dificultad de determinación de estos indicadores, ya que como afirma *Henesey*, el funcionamiento de una terminal no sólo depende del rendimiento de las grúas, ni de la minimización del tiempo de espera de los barcos en los muelles generando pérdidas para el cargador y el consecuente descenso de la competitividad el puerto, sino que existen otros factores que en combinación con los otros subsistemas dificultan la tarea de definir un nivel de servicio global.

Muchos son los estudios en que se relaciona la capacidad portuaria y el nivel de servicio ofrecido por la terminal como el tiempo en el que el buque permanece en el muelle y la capacidad de las grúas que operan en el muelle, pero mostraremos aquellos que realmente tienen en cuenta el subsistema de recepción y entrega.

3.2.3 Capacidades

La capacidad, según *Manheim (1987)*, se define como el número máximo de ítems que pueden ser procesados por un sistema y por unidad de tiempo, a un cierto nivel de calidad de servicio.

Sander Dekker (2005) afirma que la capacidad es una característica propia de las infraestructuras, indicando la habilidad para ofrecer un servicio y anuncia que variaciones en la capacidad provoca modificaciones en los tiempos de servicio y los costes. A su vez, Dekker encuentra una relación entre el tiempo de servicio y la capacidad en función de la variación del flujo, el cual se puede representar gráficamente y permite entender claramente el concepto de congestión.

En la gráfica, se puede observar que cuando el flujo va aumentando, el tiempo de servicio va creciendo pero cuando el flujo alcanza la capacidad máxima del sistema, el tiempo de servicio tiende al infinito, al haber sobrepasado los límites y expectativas de diseño.

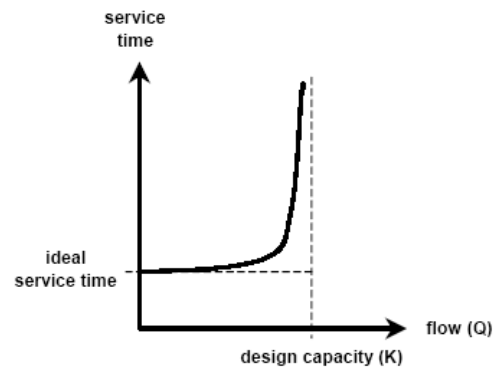


Figura 6.- Relación entre el tiempo de servicio y capacidad. Concepto de congestión.
Fuente: *Port Investment towards an integrated planning of port capacity*. Sander Dekker (2005)

Existen conceptos relacionados con la capacidad que cabe mencionar. Uno de ellos es la capacidad efectiva, que viene determinada por los siguientes elementos (Ashford and Wright, 1992):

- Las variables de diseño como el número, tamaño y área de las superficies.
- La calidad y fiabilidad del servicio
- La demanda y las características de manejo de la mercancía transportada.
- Factores medioambientales como la función desarrollada por los alrededores y las condiciones meteorológicas.

Después encontramos el concepto de la planificación de la capacidad (*capacity planning*), definido por Manascé (1999) que viene a ser el proceso de predicción de la capacidad para que los niveles de servicio no sean abordados y los problemas de congestión sean solventados lo antes posible.

Introduciéndonos en nuestro campo de estudio, se entiende por capacidad portuaria la carga máxima (toneladas) que puede ser atendida por un puerto en un período de tiempo, gracias a los servicios ofrecidos por el puerto y de las empresas asociadas. La capacidad de una terminal según Patrick Fourgeaud (2000), depende del porcentaje de carga del buque, de los movimientos no productivos, del nivel de automatización de las grúas, del peso medio de la unidad de carga y del porcentaje de mercancía que requiere una especial atención.

Aspectos muy relacionados son la capacidad de diseño, la capacidad actual y la congestión, que se muestra a continuación.

Se define la capacidad de diseño como aquel valor que representa el volumen o flujo máximo de mercancías que puede ser transportado para un cierto nivel de servicio. La capacidad actual generalmente es inferior a la de diseño, pero en algunos casos puede ser superior debido a una definición errónea del nivel de servicio o a una mejora de los procesos que la forman ejecutados con antelación a lo esperado.

La congestión se define como la acumulación de un número determinado de ítems en un cierto punto y tiempo. Se considera que un sistema está congestionado si el flujo de elementos transportados alcanza la capacidad de diseño. Martin Ilmer (2006) relaciona la congestión con la capacidad y asegura que en general una terminal de contenedores empieza a congestionarse cuando la utilización supera el 70%, siendo la utilización el ratio entre el tráfico actual y la capacidad de diseño de la terminal.

3.2.4 Niveles de servicio

Muchos son los estudios en que se relaciona la capacidad portuaria y el nivel de servicio ofrecido por la terminal como el tiempo en el que el buque permanece en el muelle y la capacidad de las grúas que operan en el muelle, pero a continuación se dan a conocer artículos que mencionan la descripción de la calidad del servicio en el subsistema de recepción y entrega así como sus autores.

Sgouridis plantea cada una de las actividades señaladas en el esquema de llegada de los contenedores al puerto, entrada de los camiones y atención de los mismos, tanto para los relacionados con las importaciones como con las exportaciones (proceso de recepción y entrega), al igual que la carga de los barcos.

Para el proceso de recepción y entrega, el número de camiones que puede acceder a la terminal y el número de posiciones de espera de los camiones para la entrega de contenedores es limitado, este proceso tiene un comportamiento regido por las colas formadas dentro y fuera de la terminal, razón por la cual define entre sus objetivos el tiempo de ciclo de los camiones y número de *straddel Carriers* necesarios para asegurar un nivel de servicio aceptable.

Ballis en *Introducing Level of Service Standards for Intermodal Freight Terminals* afirma que el nivel de servicio ofrecido por la terminal está fuertemente ligado a la productividad de la misma y es un factor importante en la toma de decisiones referentes a las inversiones en infraestructura y equipos.

Haciendo un símil entre la calidad del servicio ofrecida y el concepto de capacidad vial propuesto en el *Highway Capacity Manual*, se catalogan las distintas categorías de nivel de servicio con las letras comprendidas entre la A y la F. El nivel de servicio A corresponde a una situación ideal para el usuario, B a un valor alto para las condiciones de operación normal, y el nivel de servicio F, se califica como indiciente para el usuario.

Ballis también determina que entre los indicadores de nivel de servicio se encuentran la fiabilidad y flexibilidad del sistema, su accesibilidad y los tiempos de espera, estos últimos deben ser determinados estadísticamente, es decir, estableciendo porcentajes mínimos limitantes del tiempo en el sistema. Por ejemplo si en la terminal el 95% de los vehículos fueron atendidos en por lo menos 20 minutos, el nivel de servicio de la terminal será catalogado como A.

Huynh (2005) plantea en *Methodologies for Reducing Truck Turn Time at Marine Container Terminals* el estudio del problema de congestión de camiones a la entrada de las terminales, condición que no solo crea problemas para los operadores de la terminal sino para el público que, por las excesivas emisiones contaminantes generadas por los camiones a la espera de ser atendidos, ve afectado su entorno en términos medioambientales.

En este documento el autor plantea dos estrategias para reducir los tiempos de los camiones en el sistema, en la primera se efectúa incrementando el número de grúas de campa y en la segunda se implementa un sistema de citas para las llegadas de los camiones, de manera que el flujo de los mismos sea laminar, suavizando así los picos de espera.

Al asumir que la hora de llegada es conocida se simplifica el problema, ligándolo solo a las demoras de la operación en la terminal. Inicialmente se detectó la influencia del número de grúas de campa en el tiempo de espera de los camiones, donde se calcularon una serie de regresiones, en el que los modelos de parámetros no lineales arrojaron los mejores resultados y se pudo concluir que los tiempos de espera se ven principalmente afectados por el número de grúas y el ratio de movimientos realizados.

Manuel Guerra Vázquez et al. (2002) dirigió un estudio junto a la Autoridad Portuaria de Valencia y la Fundación IPEC para analizar el sistema de colas generado en los accesos a las terminales por los camiones en España. En esta investigación se realizaron tres modelos, dividiendo el día en franjas horarias y uno para su totalidad y se usaron los siguientes parámetros:

- Tráfico de camiones (variable exógena)
- Número de grúas de patio en funcionamiento
- Interacción entre las operaciones marítimas y terrestres (número de manos marítimas utilizadas en las jornadas de recepción y entrega)
- Relacionadas con el personal de manipulación: Falta de personal en función de la jornada y personal que realiza dos jornadas consecutivas en función de la jornada (dobles)

De los resultados de los modelos se encontró que los R^2 (factor que indica la calidad del experimento), es decir la explicabilidad de los modelos es de 55%, 33% y 66% para el modelo de día completo, el de la mañana y el de la tarde respectivamente lo que, aunque permite establecer estrategias que pueden reducir los tiempos de los camiones no logran explicar completamente el fenómeno.

Otras afirmaciones que se pueden extraer del estudio son: el número de buques que trabajan simultáneamente no tienen relevancia en las jornadas de recepción y entrega y que el factor crítico o cuello de botella en este subsistema viene en parte producido por las esperas asociadas al personal de manipulación seguidas de las asociadas al tráfico.

Hasta este punto, se han mencionado los factores que afectan a los niveles de servicio ofrecidos por la terminal, pero para poder llegar a definirlos es necesario tratar de entender el concepto de calidad y sobretodo que es lo que los clientes esperan del servicio ofrecido.

Estos conceptos fueron tratados por Wiegman, Rietveld y Nijkamp (2003-2004) donde afirmaban que los aspectos que más importaban a los usuarios del servicio son la fiabilidad y la flexibilidad del sistema, después de realizar una serie de entrevistas a distintos clientes de terminales de contenedores.

El reconocimiento de las necesidades de los clientes y el ofrecimiento de una alta calidad en los procesos de entrega a bajo coste se han convertido en los factores críticos para las operadoras de terminal.

Remontándonos a las primeras definiciones de calidad y estudios analíticos, encontramos a Garvin (1984), quien definió 4 fases en el desarrollo de la calidad: inspección, control estadístico de calidad, cuidado de la calidad y dirección estratégica de la calidad. Pero en el ámbito del comercio, el concepto de calidad se deja en manos del usuario o cliente del servicio, que es quien recibe y puede valorar su experiencia.

Generalmente, en estudios de mercado, se define la calidad como la diferencia entre las expectativas del usuario y lo observado durante el proceso, definición que sería perfectamente aplicable a la definición de nivel de servicio en recepción y entrega.

De Vries et al., (1994) define *Total Quality Control* como un sistema que integra todos aquellos grupos con una organización a desarrollar y mantener, mejorando su calidad, con el fin de ofrecer un buen servicio y generar una producción lo más eficiente posible para alcanzar la máxima satisfacción del cliente. *Total Quality Management* está fijado primordialmente en las necesidades y ordenanzas de los clientes, quienes consideran como términos principales para la mejora de la calidad lo citado anteriormente, la fiabilidad de la terminal, la velocidad del manejo de la mercancía y la mejora en los procesos de transferencia de información y comunicación.

Concluyendo, para la definición del nivel de servicio es de utilidad partir de las exigencias y necesidades de los clientes, es decir, sus expectativas. Ya que si el servicio observado por la terminal durante el proceso es el esperado o incluso mejor, la percepción del servicio será catalogada positivamente. A continuación se muestra un esquema con las relaciones entre los operadores y los clientes para definir la calidad del servicio.

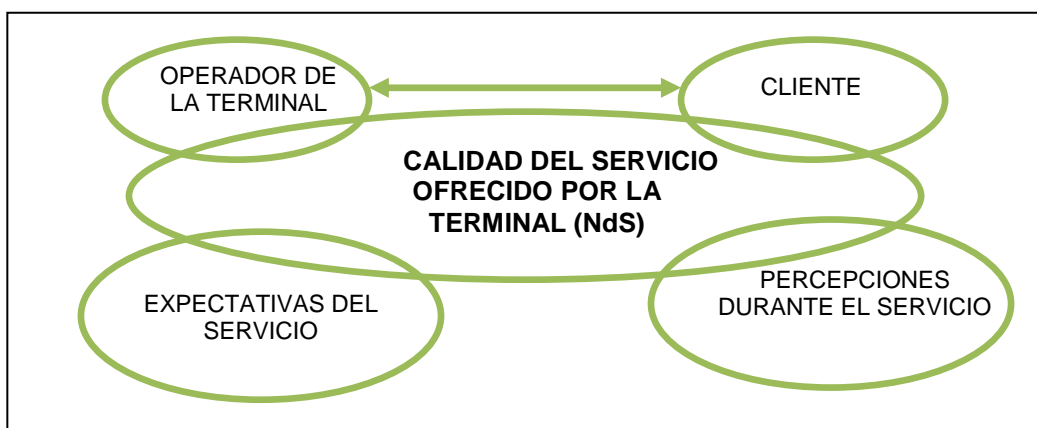


Figura 9.-: Calidad del servicio en una terminal. Fuente: Basado en de Vries et al., 1994.

3.3 SIMULACIONES EN RECEPCIÓN Y ENTREGA

3.3.1 Introducción:

Las simulaciones son una herramienta de trabajo que permiten conocer el comportamiento de un cierto proceso definiendo con anterioridad todos los elementos que lo componen. Con estas simulaciones se puede obtener un mayor conocimiento e interpretación de los fenómenos que se manifiestan en los sistemas, mejorando el control de los mismos y obteniendo sensibles beneficios en su operación.

En nuestro caso de estudio, se va a proceder a la simulación del funcionamiento del subsistema de recepción y entrega en una terminal marítima de contenedores, con el fin de obtener unos resultados de capacidad-tiempo y posteriormente la valoración del nivel de servicio según los tiempos de espera y estancia en la terminal.

Para realizar dicha simulación se utilizará el programa informático Witness, pero antes de entrar con más detalle sobre los parámetros de la simulación, realizaremos una revisión bibliográfica sobre otros autores que han utilizado la herramienta de la simulación en sus estudios.

3.3.2 Estudios previos

Recientemente se han planteado simulaciones que reproducen las actividades en la terminal, considerando el proceso de recepción y entrega para lograr reproducir fielmente las actividades y poder usar los datos obtenidos en la toma de decisiones en el proceso de planificación del puerto.

Gambardella (1998) en *Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal* centra su objetivo en la ubicación de los contenedores en la campa, en la programación de las operaciones con el fin de mejorar el comportamiento de la terminal basándose en indicadores económicos y en la predefinición de unas rutas dentro de la campa. También asemeja, al igual que muchos otros autores, el comportamiento que siguen las llegadas de camiones, trenes y buques a la terminal a distribuciones estadísticas, dado que conocemos los datos reales.

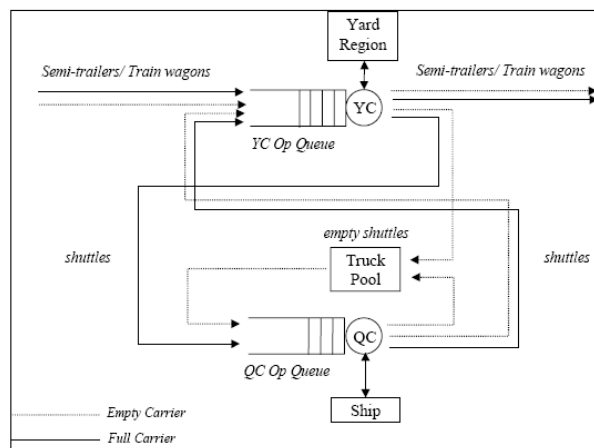


Figura 10.- Representación del flujo de camiones en la terminal.
Fuente: Gambardella et al 1998.

Liu (2002) en *Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals* hace una simulación para la mejora del puerto reduciendo los movimientos de las grúas y evalúa el comportamiento de cuatro diferentes tipos de terminales automatizadas con vehículos guiados automáticamente (AGV's), sistema de motor de transmisión lineal (LMCS), sistema de red de suministros de rieles aéreos (GR), estructura de levantamiento y recuperación aérea automatizada (AS/RS). Con este estudio se pretende demostrar el mejoramiento de las terminales tradicionales con la automatización de sus operaciones.

Para establecer los diferentes escenarios se caracterizaron diferentes elementos de la terminal pasando por la capacidad de almacenaje, el número de muelles y grúas hasta el número de lugares en la entrada de los camiones, entre otras.

Liu (2002) determina la capacidad de la entrada en función de los “picos” de llegadas y tiempos de servicio aleatorios haciendo la modelación de este como un sistema de colas $M(\lambda)/M(\mu)/n$, es decir, distribución de llegadas de camiones y de servicios exponenciales con media λ y μ respectivamente y n servidores. A este tipo de notación se le denomina notación de Kendall.

Asumiendo que la llegada de los camiones y los tiempos de servicio son aleatorios, Liu define el número mínimo de puertas de entrada según un cociente entre los valores medios de las distribuciones exponenciales.

Sgouridis (2002) en *Simulation-Based Analysis of Handling Inbound Containers in a Terminal* da a conocer la importancia de los modelos de simulación para la optimización del número de straddle carriers necesarios, investigación de las posibles tipologías de zonas de carga y descarga para los camiones, estimación de los beneficios al reducir los movimientos de contenedores en la campa y para estimar la longitud de las colas generadas para distribuir el espacio.

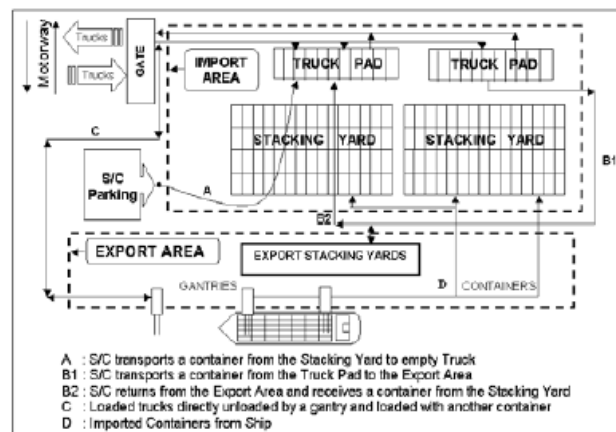


Figura 11.- Esquema de la terminal de contenedores y procesos propuestos por Sgouridis.
 Fuente: Sgouridis (2002).

El estudio realizado tiene, como problema tipo, una terminal de contenedores de importación operada por *straddle carriers*. Para esta simulación se emplearon parámetros como el tamaño, la velocidad y el ritmo de llegadas, de manera que se pudiera ajustar a cualquier condición de operación. La

implementación de este tipo de herramientas permite no solo la planificación de las terminales al ver la repercusión de cambios en el sistema sino la evaluación del nivel de servicio (NdS) aportado por cualquier tipo de configuración.

Gary Froyland (2006) en *Optimizing the Landside Operation of a Container Terminal*, realiza la simulación de la terminal de contenedores de Sydney para optimizar la interfaz con el transporte terrestre utilizando puentes grúa montados sobre raíles (RMG) con un sistema de doble ciclo. Los resultados permitieron obtener el número óptimo de *straddle carriers* en la terminal, así como el número de movimientos operativos necesarios, llegando a la conclusión que una automatización del proceso conlleva grandes mejoras.

Existen otros estudios que nos ayudarán a comprender y a ejecutar de una forma más sencilla nuestro estudio de simulación. En estos se hace una réplica del funcionamiento de las terminales de contenedores, desde la llegada de los buques a puerto hasta la interconexión con el transporte terrestre y fluvial, con el fin de optimizar los movimientos y reducir los tiempos de espera de los camiones. Estos estudios de especial interés son los siguientes:

- Simarro Fernández, Raúl. Desarrollo y validación de herramientas para la gestión de la operativa terrestre en una terminal marítima de contenedores.
- Katta G. Murty A decisión support system for operations in a container terminal.
- Kia (2002). Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation.

En los estudios anteriormente citados, se plantea la conexión directa buque-ferrocarril, para evitar la congestión en la zona de almacenaje y compara dos sistemas operacionales llegando a significantes reducciones de espacio en el puerto, tiempo de los buques en el muelle y costes económicos.

3.4 OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE TRANSPORTE INTERNO EN UNA TERMINAL MARÍTIMA DE CONTENEDORES

Otro estudio de gran relevancia, no sólo por la temática del estudio sino por la utilización de la herramienta de la simulación, sería esta tesina de Espinet, D. (2006).

3.4.1 Introducción

Esta tesina pretende dar a conocer y analizar cada uno de los procesos que se establecen en una terminal de contenedores y a partir de este punto tratar de obtener la estrategia que permita optimizar los procesos de la terminal mejorando el nivel de servicio. El modelo de simulación fue la terminal de contenedores del puerto de Barcelona (TCB), operada en su totalidad por *straddle carriers*.

3.4.2 Descripción del problema

En este estudio se analiza en detalle los ciclos internos de trabajo realizados por los *straddle carriers* en cada uno de los subsistemas que opera, es decir, conexión con el transporte marítimo, actividades en la campa y conexión con el transporte terrestre, así como el estudio completo de cada uno de estos subsistemas con el fin de optimizar mediante una simulación los procesos de la terminal. Se establecen decisiones a nivel estratégico y se definen escenarios con todos aquellos elementos que se cree que pueden variar la curva de producción de la terminal y una disminución de los tiempos de espera.

Se describen tres estrategias de trabajo para los *straddle carrier*. La de ciclo simple, en que cada *straddle carrier* tiene adjudicada una función, las de ciclo doble que tienen adjudicado carga o descarga y las de ciclo cuádruple que pueden operar por toda la terminal según el momento en que se produzcan los trabajos.

Para la ubicación de los contenedores en la campa también se establecen tres estrategias de colocación. Separar los contenedores de importación de los de exportación, y después colocarlos más cerca o menos de la interfaz con el transporte marítimo o terrestre y estacionar los contenedores en cualquier parte de la campa. También se define una técnica para la colocación de los contenedores en la campa que se denomina DoS (*duration of stance*), la cual consiste en la ubicación de los contenedores en la campa según los movimientos futuros que se producirán con los contenedores. El principal objetivo de estas estrategias de colocación es la disminución de los movimientos improductivos realizados en la campa.

Una vez definidos los elementos que gobernarán la terminal, así como las tareas básicas de los *straddle carrier* se definieron cada uno de los experimentos, combinando los distintos escenarios generados, que serán puestos a prueba en la simulación.

3.4.3 Modelo de simulación

El modelo introducido es diseñado, construido e implementado con datos reales obtenidos de la terminal de contenedores del puerto de Barcelona, pero este fue simplificado con el fin de reducir el coste temporal en el proceso de cálculo.

El modelo fue construido en tres pasos. En la primera parte se identificaron los principales elementos presentes en la terminal, así como sus actividades y relaciones. Seguidamente se identificaron las decisiones principales de la terminal y en la última parte se realizó la conexión entre los elementos y las decisiones establecidas.

La rutina fue realizada con el programa informático Matlab 7.0, que permite definir la matriz que conecta cada uno de los elementos del sistema. Primero de todo se creó una matriz con la posición de cada una de las grúas, de las puertas de entrada y de los huecos para ubicar los contenedores en la campa y después se creó una matriz con los tiempos de viaje entre una posición y otra representados en el modelo.

3.4.4 Resultados

Los resultados obtenidos de la simulación demuestran que el mejor escenario es aquel que combina un ciclo cuádruple de trabajo para los *straddle carrier* y la ubicación de los contenedores por toda la campa ubicando los de exportación cerca de las grúas portuarias que operan en el muelle. La segunda mejor opción sería combinar un ciclo doble de trabajo y la ubicación de los contenedores por toda la campa sin hacer distinción.

La ventaja de colocar los contenedores por toda el área de almacenamiento implica una disminución considerable en el número de movimientos improductivos.

De las estrategias de colocación la que da un mejor servicio global consisten en ubicar los contenedores de importación cerca de la interfaz con el transporte terrestre y los de exportación cerca del muelle. Para ofrecer un mejor servicio a los camiones, la mejor estrategia consiste en estacionar los contenedores a lo largo de la campa sin hacer distinción.

Otro resultado que nos puede ser útil es la determinación de aquellos elementos que pequeñas variaciones en sus estrategias tienen repercusión en el funcionamiento global de la terminal. En este caso es el proceso de carga en el muelle, ya que requiero un nivel de servicio muy estricto.

3.4.5 Conclusiones del estudio

Este estudio nos ha ofrecido unos resultados cualitativos que no pueden ser aceptados como datos reales ya que se han ejecutado una serie de simplificaciones, pero también queda demostrado la utilidad de las simulaciones para la optimización de los procesos y la reducción de los tiempos, con el objetivo de obtener una mejora en el servicio ofrecido.