

Modelado y análisis de un puerto seco mediante simulación

Álvaro García Sánchez¹, Isabel García Gutiérrez², Laura Pérez Juan²

¹ Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. José Abascal, 2. 28006. Madrid. alvaro.garcia@upm.es

² Área de Ingeniería de Organización. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. Avda. de la Universidad, 30. 28911 Leganés. Madrid. igarcia@ing.uc3m.es, lauraperezjuan@yahoo.es

Resumen

El transporte intermodal es una de las oportunidades más prometedoras para el desarrollo sostenible del sector. Dentro de una red de transporte ferroviario intermodal existen terminales marítimas y terminales interiores. Un puerto seco es un tipo de terminal a medio camino entre ambas, pues tiene la estructura de una terminal interior, pero se integra en la subred de terminales marítimas, actuando como una extensión hacia el interior de las terminales costeras, de forma que se agiliza el movimiento de las mercancías. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un modelo de simulación de un puerto seco, y se ilustra su utilización para la toma de decisiones relativas a las infraestructuras, mediante el análisis de diversos escenarios de funcionamiento.

Palabras clave: Intermodal, transporte combinado, simulación, terminal

1. Antecedentes

En este trabajo se profundiza en una línea de investigación dedicada al desarrollo y análisis de herramientas, basadas en simulación, destinadas a apoyar la toma de decisiones relativas a redes ferroviarias de transporte combinado. En la literatura se puede encontrar una apreciable cantidad de trabajos en esta área, que dan idea de las posibilidades de sacar partido de la simulación, entre otras técnicas de análisis cuantitativo, para la mejora de los procesos propios de terminales intermodales. Vis y Koster (2003) ofrecen una amplia revisión de aplicaciones, clasificadas en función del tipo de proceso que es objeto de estudio, si bien se centra en las terminales marítimas. Gambardella y Rizzoli (2000) amplían el espectro de revisión a aplicaciones a terminales interiores. Adicionalmente ofrecen una interesante reflexión en torno al papel de la optimización y la simulación en la resolución de los problemas propios de estos sistemas.

La investigación presentada es continuación de un trabajo previo en el que se analizó la utilidad de un modelo de la red ferroviaria española de transporte combinado para la toma de decisiones relativas a la infraestructura y las políticas de operación. El modelo estaba constituido por las terminales intermodales terrestres (intercambio carretera-tren) y marítimas (intercambio barco-tren), así como por la red ferroviaria de conexión entre ellas, (García y Gutiérrez, 2003). En este trabajo se incidió especialmente en el conjunto de la red, por lo que se adoptaron ciertas simplificaciones en el modelado de las terminales. Como continuación de ese trabajo, con el objetivo de profundizar en este último aspecto se plantea el presente

trabajo. Al mismo tiempo se aborda la problemática específica de un puerto seco, esto es, una terminal interior que funciona como extensión de las terminales portuarias.

A continuación se describe de manera general un puerto seco, y con mayor detalle aquel que se utiliza como caso de estudio. Después se precisa el diseño del modelo de simulación y las medidas del funcionamiento del sistema elegidas. En tercer lugar, se explican los resultados obtenidos de la experimentación con el modelo, en la situación actual y en un escenario de futuro. Finalmente, se resumen las conclusiones del trabajo.

2. Características del caso de estudio. El puerto seco de Coslada

Una de las claves para impulsar modos de transporte de mercancías alternativos al transporte por carretera, que favorezcan un desarrollo sostenible, es la generalización del transporte intermodal. Éste ofrece ventajas evidentes con respecto a los modos de transporte disociados, aunque también presenta dificultades de coordinación, que posiblemente expliquen su lento desarrollo a pesar de las medidas de apoyo que se proporcionan desde diversas administraciones.

Un puerto seco es una terminal intermodal interior, conectada con una o varias terminales marítimas, con la capacidad de posponer el control aduanero a la entrada en el puerto seco. Esta característica permite agilizar la salida de las mercancías de los puertos hacia su destino, contribuyendo a descongestionar sus operaciones. Hasta hace pocos años en España apenas existían, pero recientemente se han puesto en marcha numerosos proyectos de construcción de puertos secos en diversos puntos de la península. Entre ellos destaca el puerto seco de Coslada (Madrid), que ya lleva algunos años en funcionamiento. El valor estratégico de este tipo de terminales se entiende teniendo en cuenta el crecimiento del transporte combinado por ferrocarril en los últimos años, y la especial configuración geográfica del país, que hace de los puertos marítimos importantes puntos de intercambio internacional de mercancías.

Como metodología de trabajo se eligió un caso de estudio representativo, a partir del cual se obtuvieron los datos necesarios para la investigación: características físicas y de funcionamiento, restricciones externas y alternativas de mejora. De los puertos secos existentes en España se seleccionó como caso de estudio el puerto seco de Coslada, a las afueras de Madrid, por varios motivos: por su proximidad, por su papel estratégico en la red de transporte combinado, debido a su ubicación en el centro de la Península y al volumen de transportes asociado a la Comunidad de Madrid. Finalmente, la disposición favorable de los gestores de la terminal a colaborar en la investigación, proporcionando los datos necesarios, fue otro punto esencial a favor de esta elección.

A continuación se resumen los medios físicos con los que cuenta dicha terminal:

- La grúa pórtico, que se utiliza para la carga y descarga de los trenes, y grúas móviles, destinadas fundamentalmente al movimiento de los contenedores entre las zonas de carga/descarga y almacenamiento.
- Un locotractor, que realiza el movimiento de los trenes en el interior de la terminal.
- Vías de expedición y recepción, utilizadas para la salida y la llegada de los trenes; vías bajo pórtico, de carga y descarga; y la vía mango, necesaria para las maniobras de entrada y salida de los trenes.
- Playas de almacenamiento de contenedores y zonas de almacenamiento de corto plazo en los laterales de las vías de carga y descarga.

- Una nave para efectuar operaciones de ruptura y consolidación de cargas.

Finalmente, el personal con el que cuenta la terminal se divide en un equipo de trabajo de RENFE y un equipo de trabajo de la propia terminal.

A pesar de que existen otros medios de transporte combinado aparte del contenedor (como por ejemplo las cajas móviles), la inmensa mayoría de las cargas se realizan mediante contenedores, por lo que sólo se ha considerado este medio. De nuevo, existen medidas variadas de contenedores. En este estudio sólo se contemplan las más frecuentes, de 20 y 40 pies.

El material rodante necesario para la composición de los trenes: las plataformas y las locomotoras, son propiedad de RENFE, que se encarga también de su gestión, representando esto una cierta restricción para el funcionamiento del puerto seco.

La Figura 1 es una vista aérea del puerto seco, donde se puede apreciar la disposición general de los elementos físicos anteriormente descritos.



Figura 1. Vista aérea del puerto seco de Coslada

Con la excepción del control aduanero las operaciones que se realizan en un puerto seco son análogas a las de una terminal intermodal interior ferrocarril/carretera. En la misma línea que otros modelos de terminales ferrocarril/carretera, véanse por ejemplo Kulick and Sawyer (2001) y Rizzoli *et al.* (2002), se consideraron las siguientes operaciones básicas:

- La descarga de contenedores que llegan a la terminal en camiones para ser transportados en tren, y el proceso inverso de carga de contenedores en camiones para su transporte final por carretera.
- La carga y descarga de contenedores en los trenes de salida y de llegada a la terminal.
- Los servicios aduaneros marítimos que realizan los trámites de entrada en el territorio nacional de las mercancías, en el caso de que no se hayan realizado en el puerto marítimo de origen.
- El fraccionado de la carga de un contenedor y el proceso inverso de consolidación de cargas para formar un contenedor, en los casos en los que esto sea preciso.
- La expedición y recepción de trenes.

3. Modelo de simulación

Para el desarrollo del modelo se ha utilizado el entorno de simulación Witness®, propiedad de la empresa Lanner Group, que en ocasiones anteriores ha demostrado ser un entorno adecuado para la representación de este tipo de sistemas.

El objetivo que ha guiado el diseño del modelo es evaluar si la infraestructura y el equipamiento del puerto seco serían suficientes para satisfacer la demanda en diversos escenarios de futuro, de tal modo que el modelo de simulación proporcione un laboratorio de experimentación donde se anticipen y cuantifiquen los efectos del conjunto de decisiones y circunstancias externas al que esté sometida la terminal en el futuro.

Los indicadores utilizados para medir el comportamiento del sistema son de dos tipos: indicadores de la calidad de servicio e indicadores del grado de utilización de los recursos. En el primer grupo se consideró el tiempo total de permanencia de los contenedores en la terminal, junto con el desglose de tiempos parciales de espera para realización de las distintas operaciones. En el segundo grupo se incluyen los índices de ocupación de los recursos personales y materiales (operarios y grúas), así como de los espacios físicos (vías y zonas de almacenamiento). El objetivo de estos últimos indicadores es detectar por ejemplo, recursos que estén saturados y que puedan actuar como cuello de botella en el sistema, o recursos que estén claramente infrautilizados.

Teniendo en cuenta los datos recogidos sobre el funcionamiento de la terminal, se programó un modelo de simulación en el cual se producen las llegadas y las salidas de los trenes sujetas a horarios fijos. Los destinos con los que mantiene intercambios el puerto seco son los puertos de: Valencia, Bilbao, Barcelona y Algeciras. Se ha considerado que por término medio sale un tren al día para cada destino. La llegada de los trenes desde cada origen se produce siguiendo el mismo patrón.

Por otra parte, se estableció una longitud máxima de tren que no se puede rebasar. Sin embargo, en el modelo se contempla la posibilidad de que un tren lleve menos carga de la máxima si, alcanzada la hora de salida del tren, se ha cargado el tren con el número mínimo de contenedores que se considera suficiente para que el tren no sea anulado.

La carga y la descarga de los contenedores en las plataformas se realizan preferentemente mediante la grúa pórtico, aunque podrían intervenir también las grúas móviles en caso necesario. En el modelo se concede prioridad a las operaciones de carga frente a las de descarga. El proceso de carga se regula mediante órdenes lanzadas con aproximadamente 2 horas de antelación respecto a la salida de los trenes y finaliza veinte minutos antes del horario fijado para la salida del tren, instante en el que ya no se permite la carga de ningún contenedor.

En lo relativo al flujo de contenedores que llega a través de tráfico rodado, se ha establecido una zona de descarga, a la cual acude una grúa móvil, que descarga el contenedor del camión y lo transporta como norma general a la playa de almacenamiento, a no ser que reciba el tratamiento de urgente. En este caso iría directamente a la zona de carga inmediata.

Los camiones que recogen contenedores llegados por tren al puerto seco y con destino final Madrid, se cargan mediante una grúa móvil en la misma zona utilizada para la de descarga. Los contenedores que se cargan en camiones para su distribución regional pueden proceder de un tren recientemente descargado, de la playa de almacenamiento o del centro de rotura y redistribución de carga, según los atributos del contenedor.

Aspectos a los cuales se asocia una probabilidad, como por ejemplo, el número de contenedores de tipo urgente, el número de contenedores que han de someterse a un proceso de redistribución de carga o las tasas de fallo de las grúas se han modelado mediante variables estocásticas.

La Figura 2 es una imagen del modelo, a la que se han añadido indicaciones de las funciones de los elementos.

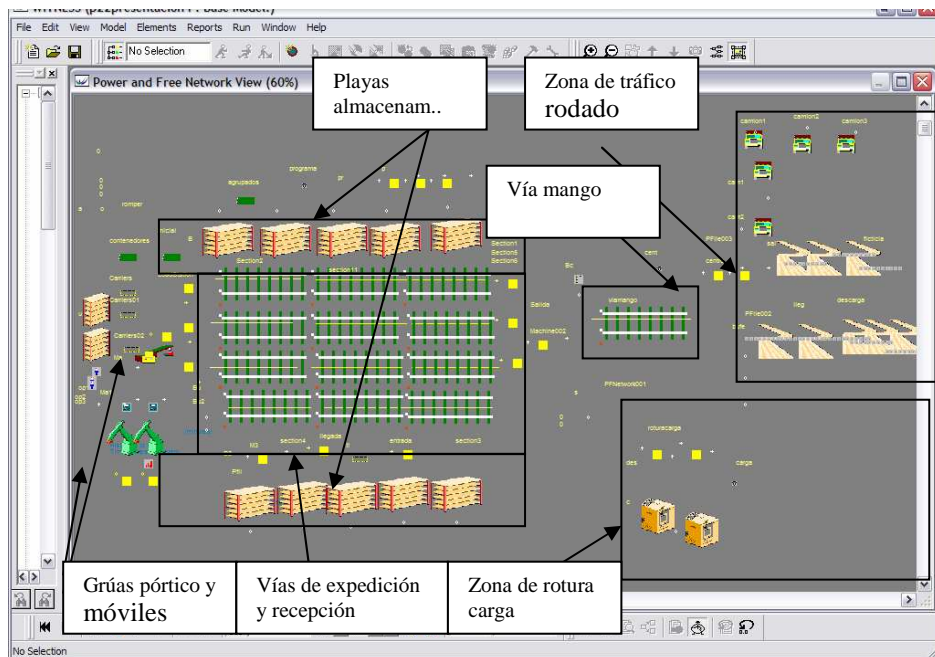


Figura 2. Imagen del modelo de simulación

Con respecto a modelos desarrollados anteriormente, se han mejorado una serie de aspectos, entre los que se pueden destacar:

- La flexibilidad en la longitud de los trenes.
- La representación más precisa del trabajo de carga y descarga de los trenes mediante el pórtico.

4. Análisis de los resultados sobre el funcionamiento del sistema

Una vez programado y verificado el modelo se realizó una primera batería de experimentos que proporcionaron resultados sobre el funcionamiento bajo las hipótesis de trabajo actuales. Estos primeros resultados son una oportunidad para validar el modelo, si se comparan con resultados conocidos del funcionamiento real de la terminal.

La duración de las simulaciones fue de una semana y se realizaron cinco repeticiones. Las condiciones iniciales de experimentación se obtuvieron a partir del estudio del sistema real y se reflejaron en el modelo estableciendo dichas condiciones para $t=0$.

Como resumen de los resultados obtenidos en este experimento se puede decir que, por lo general, los recursos de movimiento de cargas tienen un uso por debajo de su capacidad máxima, en torno al 60%. En esta situación, la terminal tendría capacidad para gestionar adecuadamente un flujo mayor de trenes, y lo que está limitando su actividad es el número de trenes semanales programados. En lo relativo a la calidad de servicio, se producen unos tiempos de permanencia elevados, 3,7 días de promedio. Nuevamente, este efecto es atribuible a la limitación del número de trenes, así como a la función que cumple el puerto seco de almacén temporal para los puertos marítimos, más congestionados.

Estas conclusiones coinciden con la información de que se dispone sobre el funcionamiento real del puerto seco. Por tanto, de este primer análisis se podría concluir que sería interesante trasladar los resultados a la entidad responsable de fijar el número de trenes semanales, en este caso RENFE, para estudiar la posibilidad de incrementarlos.

5. Escenario de futuro

En consonancia con las expectativas de crecimiento a un año vista, se establece un escenario de futuro con un incremento de la demanda sobre la actual del 30%. Éste importante aumento no resulta extraño teniendo en cuenta que el puerto seco inauguró su actividad en 2000 y se encuentra todavía en una fase de expansión inicial.

Se ha supuesto que este incremento en la demanda vendrá acompañado del correspondiente aumento del número de trenes.

Los resultados obtenidos indican que los recursos de movimiento de cargas de la terminal incrementan su actividad hasta el 75-85%. Por tanto la terminal tendría todavía capacidad para gestionar este volumen de contenedores, aunque se acercaría a la saturación. Por otra parte, los tiempos de espera disminuyen, reduciéndose por ejemplo el tiempo medio de espera en la terminal a 3,3 días. La mejora en los tiempos de espera con el incremento de demanda resulta lógica, al no saturarse los medios de la terminal y aumentar en el número de trenes expedidos.

6. Conclusiones

Se ha presentado la aplicación de la simulación al análisis cuantitativo del funcionamiento de una terminal intermodal, de características especiales, como es un puerto seco. Se ha aplicado un enfoque de modelado anteriormente utilizado para terminales interiores, adaptándolo a las circunstancias específicas del caso estudiado, el puerto seco de Coslada, y modificándolo para mejorar algunos aspectos, como la hipótesis de longitud variable de los trenes, entre un máximo y un mínimo, y la representación más precisa del trabajo de carga y descarga de los trenes mediante el pórtico.

El modelo implementado permite estudiar el sistema bajo diversas condiciones hipotéticas de funcionamiento y evaluar cuantitativamente los resultados que obtendrían en cuanto a la calidad de servicio y la utilización de los recursos.

Agradecimientos

Agradecemos su colaboración a las autoridades del Puerto Seco de Coslada. La atención que nos prestaron ha sido de inestimable valía para la documentación y obtención de datos sobre el caso estudiado.

Referencias

Gambardella, L. M. y Rizzoli, A. E. (2000). The role of simulation and optimisation in intermodal container terminals. *Proceedings of ESS2000 12th European Simulation Symposium and Exhibition*, pp. 422-6.

García, I. y Gutiérrez, G. (2003). Simulation model for strategic planning in rail freight transport systems. *Institute of Transportation Engineers*, Vol. 73, No. 9, pp. 32-40.

Kulick, B. C. y Sawyer, J. T. (2001). The use of simulation to calculate the labor requirements in an intermodal rail terminal. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, pp. 1038-41.

Rizzoli, A. E., Fornara, N. y Gambardella, L. M. (2002). A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. *Mathematics and Computer Simulation*, No. 59, pp. 57-71.

Vis, I.F.A. y Koster R. de (2003). Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European Journal of Operational Research*, Vol. 147, pp. 1-16.