

Mejora del trasbordo de contenedores en la Terminal de Port Bou mediante programación lineal

José Ángel González, Eva Ponce Cueto, Carlos Mataix Aldeanueva, Javier Carrasco Arias

Unidad de Ingeniería de Organización y Logística de la ETS Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. jagonzalez@etsii.upm.es, eponce@etsii.upm.es, carma@ingor.upm.es, j.carrasco@ingor.upm.es

Resumen

Esta comunicación parte de la situación actual del transporte de mercancías terrestre europeo, para considerar la alternativa que supone el transporte combinado (ferrocarril-carretera) frente al transporte por carretera. La red ferroviaria europea se encuentra fuertemente fragmentada, con la existencia de diversos puntos de estrangulamiento, en los que el análisis y los procesos de mejora continua son fundamentales para la consideración de dicha alternativa. El trabajo se centra en una de las tareas de la terminal de Port Bou, punto de estrangulamiento por el diferente ancho de vía de las redes española y francesa. La tarea es la automatización de los planes de trasbordo de los contenedores en la terminal de Port Bou, utilizando para ello un modelo de programación lineal, y apoyándose en aplicaciones informáticas de EXCEL y AIMMS.

Palabras clave: Transporte combinado, trasbordo de contenedores, programación lineal.

1. Introducción

Esta comunicación presenta uno de los procesos de mejora iniciados en el proyecto INTERFACE* y se centra en el desarrollo de un modelo que facilite la generación de los planes de trasbordo en la terminal de Por Bou. En este proceso han colaborado entre otras entidades RENFE y la Unidad de Ingeniería de Organización y Logística de la ETS Ingenieros Industriales de la UPM. El principal objetivo del proyecto INTERFACE es la mejora de la interoperatividad en el tráfico intermodal de mercancías en terminales ferroviarias fronterizas.

Al ser los modos de transporte elementos fundamentales en el desarrollo económico y social de la Unión Europea, la Dirección General de Energía y Transportes de la Comisión Europea considera entre sus prioridades la necesidad de una política común y una visión global de los problemas de transporte.

De los modos de transporte terrestre de mercancías en la Unión Europea, la carretera mantiene una cuota de mercado muy superior al resto. Además, esta cuota ha crecido de forma ininterrumpida en las últimas décadas alcanzando actualmente valores cercanos al 75% en la Unión Europea y al 90% en caso español.

* Proyecto INTERFACE (Improvement of Intermodal Terminal Freight Operations at Border Crossing Terminal, 2002-2005) financiado por el Vº Programa Marco de la UE con referencia GRD-2-2000-30249 SI2.339954.

Sin embargo, los problemas generados por el uso excesivo de la carretera, que básicamente son la congestión, el impacto ambiental y la siniestralidad, obligan al estudio y análisis de otros modos de transporte de mercancías, así como de los cambios organizativos y de diseño que los hagan más atractivos.

En este contexto, el transporte ferroviario se presenta como una de las alternativas más sólidas. Su gran capacidad de transporte, alto nivel de seguridad y bajo índice de contaminación avalan el interés de la Unión Europea por este modo de transporte, a pesar del declive de su cuota de mercado en las últimas décadas.

La red ferroviaria europea se encuentra fuertemente fragmentada, ya que históricamente su visión era predominantemente nacional o regional. Y es precisamente esta fragmentación la que resta competitividad al transporte combinado (carretera-ferrocarril-carretera), ya que en las distancias largas el transporte combinado puede ser más atractivo que el transporte por carretera. Desde esta perspectiva la Unión Europea sigue considerando imprescindible la creación del espacio ferroviario europeo integrado y, como elemento esencial, la llamada "Trans-European Transport Network".

La consideración de una red europea integrada pasa por la compatibilidad de dicha red. Por compatibilidad se entiende la capacidad de un tren para circular por cualquier tramo de la red ferroviaria. Especial interés, en este contexto, tienen los llamados puntos de estrangulamiento, que son aquéllos que, debido a la incompatibilidad de la red, forman cuellos de botella en el tránsito de los trenes por la red europea. Estos puntos, junto con otros factores, limitan de forma considerable la velocidad comercial media de los servicios internacionales de transporte de mercancías, que en los principales corredores ronda actualmente los 20 km/h (Dirección General de Transporte y Energía de la Comisión Europea, 2003).

2. Las mejoras en el transporte combinado

En paralelo con el intento de la Comisión Europea de potenciar el transporte combinado, han sido múltiples las investigaciones que buscan analizar, cuantificar y valorar las posibles mejoras en la red ferroviaria europea. Muchas de estas investigaciones están siendo publicadas en revistas y congresos especializados, y son objeto de reflexión y análisis en el mundo académico y empresarial.

Uno de estos artículos, Arnold, Peeters y Thomas (2004), analiza la repercusión que puede tener en la distribución modal diferentes escenarios hipotéticos en las políticas de potenciación del transporte combinado. Entre los escenarios planteados se considera la posibilidad de variación en los costes de transporte y de trasbordo, de localización de intercambiadores o la eliminación del denominado efecto frontera, que coincide, en gran medida con los puntos de estrangulamiento. Utilizando herramientas de simulación, este artículo muestra el importante incremento del flujo ferroviario en caso de eliminar el citado efecto frontera. Este incremento puede observarse en la figura 1, en la que se presenta el porcentaje de mercancías enviadas por transporte combinado con y sin efecto frontera. El eje horizontal es el coste relativo del tren frente a la carretera, que actualmente, según este estudio ronda 0,75.

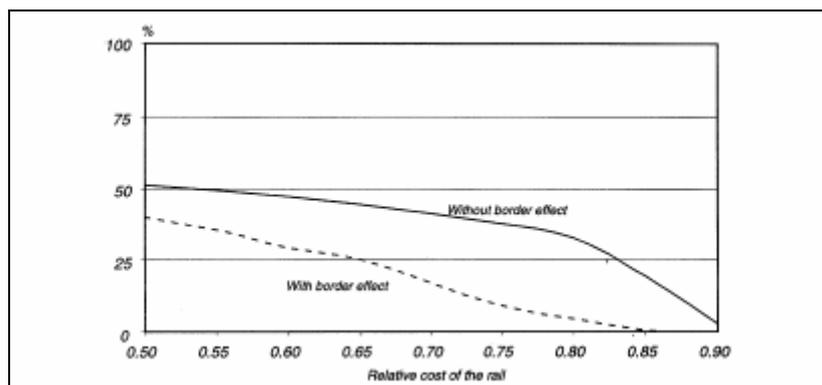


Figura 1. Variación de la cuota de mercado del transporte combinado con y sin efecto frontera (Arnold, 2004)

3. El corredor del Mediterráneo: La terminal de Port Bou.

La conexión entre la red ferroviaria de la Península Ibérica y el resto de Europa se realiza actualmente a través de dos corredores: uno en el Este, a través del paso Cerbère-Port Bou y otro en el Oeste, a través del paso Hendaya-Irún, de la cordillera pirenaica. En ambos casos el problema principal viene producido por el diferente ancho de vía a ambos lados de la frontera. Este problema convierte a los citados pasos en puntos de estrangulamiento de la red europea, ya que el tiempo necesario para el trasbordo de contenedores retrasa de forma considerable el tiempo de transporte de mercancías.

Existen además otras incompatibilidades entre la red francesa y la española, como es la longitud de los trenes, que mientras que los franceses suelen ser de 700 metros, los españoles no pueden superar los 450 metros. Esto hace que los pasos fronterizos sean lugares de descomposición y composición de trenes para adaptarse a las características de cada una de las redes ferroviarias.

3.1. Características de la terminal de Port Bou

Port Bou es una localidad española situada en el Este de la Península Ibérica, junto a la frontera hispano francesa. Su terminal es punto de paso para todas las mercancías que utilizan el llamado corredor del Mediterráneo, que suponen aproximadamente el 60% de todas las mercancías que entran o salen de la Península Ibérica utilizando el ferrocarril. En el año 2004 el volumen de tráfico de mercancías en la terminal de Port Bou fue de 2,8 millones de toneladas.

La longitud de la terminal, de Norte a Sur, es decir, correspondiente a las vías principales, es de 900 metros. Dispone de dos zonas para el trasbordo. Cada una de ellas está equipada con cuatro vías, dos con ancho de vía francesa, llamado UIC, y dos española. Las longitudes de estas vías son 340 metros en una de las zonas y 280 metros en la otra que, al ser inferior que la longitud habitual de los trenes españoles (450 metros) y franceses (700 metros), hace necesario realizar maniobras para ir introduciendo los trenes troceados en la zona de trasbordo. Cada una de estas zonas dispone de dos grúas pórtico.

La terminal también dispone de dos vías apartadero tipo UIC, pero son insuficientes para todo el tráfico de mercancías que atraviesa la estación. Una de estas vías se utiliza para el tráfico de mercancías y otra es compartida por el tráfico de mercancías y el tráfico de pasajeros. Las maniobras para el trasbordo utilizan también el túnel de Balitres, que une las terminales de

Port Bou y Cerbère con ambos anchos de vía. Algunas veces estas maniobras utilizan también un túnel ciego construido junto a la estación, compartiendo su uso con una empresa privada.

3.2. El trasbordo de contenedores en la terminal de Port Bou

El proceso necesario para el trasbordo de contenedores en la terminal de Port Bou está compuesto por tres fases. Una primera fase (T1) que incluye las tareas necesarias desde la llegada del tren hasta el comienzo del trasbordo, como son: comprobar y completar la información necesaria de plataformas y contenedores, planificar las operaciones de maniobra y trasbordo, y registrar la nueva composición del tren. La segunda fase (T2) se centra en las operaciones de trasbordo de los contenedores, previa realización de las maniobras necesarias para introducir el tren en la zona de intercambio. Finalmente una tercera fase (T3) incluye las tareas que van desde la finalización del trasbordo a la salida del tren, es decir, la formación del tren y las tareas de inspección y supervisión.

La duración de las tareas difieren ligeramente según sea el sentido del tren: Norte-Sur o Sur-Norte. No obstante, al margen de estas diferencias, el tiempo de tránsito de cualquier tren depende en gran medida del momento en que se encuentre la terminal, ya que las operaciones y movimientos de trenes están muy condicionados por su nivel de saturación. La falta de espacio físico de la terminal puede complicar y retrasar operaciones necesarias para el trasbordo de mercancías, alargando con ello el tiempo de tránsito. Por este motivo son muy grandes las diferencias de tiempo de tránsito de unos trenes a otros.

Los datos obtenidos en un trabajo de campo realizado el año 2002 por personal de la Universidad Politécnica de Madrid en la terminal de Port Bou durante el periodo de un día dieron como resultado que el tiempo medio de permanencia de un tren para la realización de todas las tareas necesarias para el tránsito, junto con las esperas correspondientes, era de 7 horas con 18 minutos. A la primera fase correspondieron 2 horas con 2 minutos, a la segunda 2 horas con 14 minutos y a la última fase 3 horas con 1 minuto.

3.3. Procesos de mejora continua en el trasbordo de contenedores en la terminal de Port Bou

El proyecto INTERFACE, junto con otros proyectos, ha colaborado en procesos de mejora que rentabilicen en mayor medida las instalaciones existentes en la terminal de Port Bou. Dada la compleja situación de la terminal de Port Bou son muchas las posibles formas de mejora de su funcionamiento, que lógicamente han de tener como objetivo final la disminución del tiempo de tránsito de los trenes que atraviesan la estación.

En concreto, el proyecto INTERFACE ha desarrollado tres líneas de trabajo complementarias. La primera centrada en el diseño y desarrollo de un sistema de apoyo a la decisión para la planificación de carga y trasbordo. La segunda en la integración de los sistemas de información necesarios para la planificación de carga y trasbordo. Y la última en la generación automática de los planes de carga y trasbordo.

El modelo que se presenta a continuación se centra en la tercera línea de trabajo. Su desarrollo facilita, por tanto, una de las tareas incluidas en la primera fase (T1) y su tratamiento informático proporciona la búsqueda de soluciones óptimas en el trasbordo, lo que quiere decir que se minimiza el tiempo de las propias operaciones de trasbordo. Esto implica que va a influir de forma directa en el tiempo específico de la segunda fase (T2).

4. Características del trasbordo en la terminal de Port Bou

El trasbordo consiste básicamente en descargar uno a uno los contenedores de uno de los trenes (tren entrante) para cargarlos en otro tren (tren saliente) que tiene diferente ancho de vía. Al no existir ningún área para el almacenamiento de los contenedores, la grúa pórtico ha de realizar de forma secuencial las tareas de descarga y carga de cada uno de los contenedores. Al margen de esta limitación, las vías de la zona de trasbordo y sus grúas disponibles pueden utilizarse de forma arbitraria para realizar el trasbordo.

Sin embargo, existen un conjunto de restricciones que limitan la composición final del tren saliente. No todos los contenedores se pueden cargar en todas las plataformas, ya que existen limitaciones de peso, longitud, tipo de carga y destino final. En concreto, las restricciones son de siete tipos: longitud, carga bruta, carga por metro lineal, carga por eje, equilibrio en las cargas, incompatibilidad de transporte de mercancías peligrosas y agrupamiento de los contenedores por destinos para evitar futuras reordenaciones.

5. Posibles metodologías para la generación automática de los planes de trasbordo

Son muchas las técnicas posibles para abordar este problema, y dado el amplio número de soluciones alternativas posibles, es imprescindible el uso de medios informáticos para su tratamiento. La programación lineal, la inteligencia artificial, la simulación, los métodos heurísticos... son algunas de las herramientas que pueden servir de base para afrontar el problema.

Anteriormente, en un trabajo de la Universidad Politécnica de Madrid, Ortiz (2002), se había explorado la utilización de modelos de simulación para analizar las operaciones de trasbordo. Si bien, los resultados estaban lejos de la generación automática de los planes de trasbordo, la experiencia permitió la obtención de un conjunto de conclusiones, así como la valoración de las aportaciones de la simulación.

El modelo de simulación creado comparó varios modos de operación de una grúa pórtico para el intercambio de contenedores. Considerando la llegada de trenes en diferentes intervalos y con diferente distribución de los contenedores, el modelo simula la respuesta de los diferentes modos de operación del puente grúa. La presencia de fuertes limitaciones de la terminal, por ejemplo, carecer de espacio para posicionar los contenedores descargados, condiciona de forma directa el modo de trabajo de la grúa pórtico. En estas condiciones, el trasbordo directo entre un tren cargado y otro descargado resultó ser el modo de operación más interesante de los analizados. El modelo de simulación permite, por tanto, analizar y valorar nuevas ideas relativas a los modos de operación, pero difícilmente va a ayudar en la generación automática de los planes de trasbordo.

6. Análisis del trasbordo en la terminal de Port Bou mediante programación lineal

El objetivo del modelo de programación lineal desarrollado es la nueva ubicación de los contenedores en el tren inicialmente descargado. Evidentemente, esta nueva ubicación ha de ser aquella que minimice la suma de las distancias recorridas por cada contenedor entre su posición inicial y su posición final. Esto supone que lo que se está minimizando son los movimientos del puente grúa, lo que equivale a minimizar el tiempo de permanencia de los trenes en la zona de trasbordo.

6.1. Datos iniciales

Hay dos grupos de datos iniciales. Los correspondientes al tren entrante, relativos a contenedores, y los del tren saliente, relativos a plataformas. A continuación se detallan en las tablas 1 y 2 la agrupación matricial de sus correspondientes datos.

Tabla 1. Matriz A: Datos del tren entrante (información relativa a cada contenedor o ITU)

Concepto	Formato	Término
* Denominación	Alfanumérico: 11 Caracteres (4 letras y 7 dígitos)	a_{i1}
* Terminal de destino	Númérico: 5 Dígitos	a_{i2}
* Longitud	Númérico: 2 Dígitos Unidad: Pie	a_{i3}
* Peso	Númérico: 4 Dígitos, de los cuales: 2 enteros y 2 decimales Unidad: Tonelada	a_{i4}
* Material de carga	Binario: 1: Mercancía Peligroso 0: Mercancía No Peligrosa	a_{i5}
* Posición en el tren	Númérico: 2 Dígitos	a_{i6}

Tabla 2. Matriz B: Datos del tren saliente (información relativa a cada plataforma)

Concepto	Formato	Posición
* Denominación	Númérico: 12 Dígitos	b_{k1}
* Tipo	Alfanumérico: Hasta 5 Caracteres	b_{k2}
* Longitud útil	Númérico: 2 Dígitos Unidad: Pie	b_{k3}
* Carga Máxima teórica (CM)	Númérico: 4 Dígitos, de los cuales: 2 enteros y 2 decimales Unidad: Tonelada	b_{k4}
* Número de Ejes	Númérico: 1 Dígito	b_{k5}
* Carga máxima por eje	Númérico: 4 Dígitos, de los cuales: 2 enteros y 2 decimales Unidad: Tonelada	b_{k6}
* Carga de desequilibrio	Númérico: 4 Dígitos, de los cuales: 2 enteros y 2 decimales Unidad: Tonelada	b_{k7}
* Posición en el tren	Númérico: 2 Dígitos	b_{k8}

6.2. Procedimiento de planificación de trasbordo

El modelo creado contiene las restricciones debidas a la longitud de cada plataforma, la carga máxima admitida por cada plataforma, la carga por metro lineal, la carga por eje, el equilibrio de cargas y la incompatibilidad de mercancías peligrosas. Sin embargo, la restricción debida al destino de las cargas queda integrada en el proceso de planificación del trasbordo.

El procedimiento parte de la numeración de los contenedores y la división del tren según destinos. A continuación irá seleccionando las cargas de cada uno de los destinos y limitando el número de plataformas receptoras para plantear el modelo de programación lineal creado. El proceso contiene un bucle para limitar lo máximo posible el número de plataformas que van a recibir a los contenedores de cada uno de los destinos.

En la figura 2 se incluye un esquema del procedimiento de planificación del trasbordo.

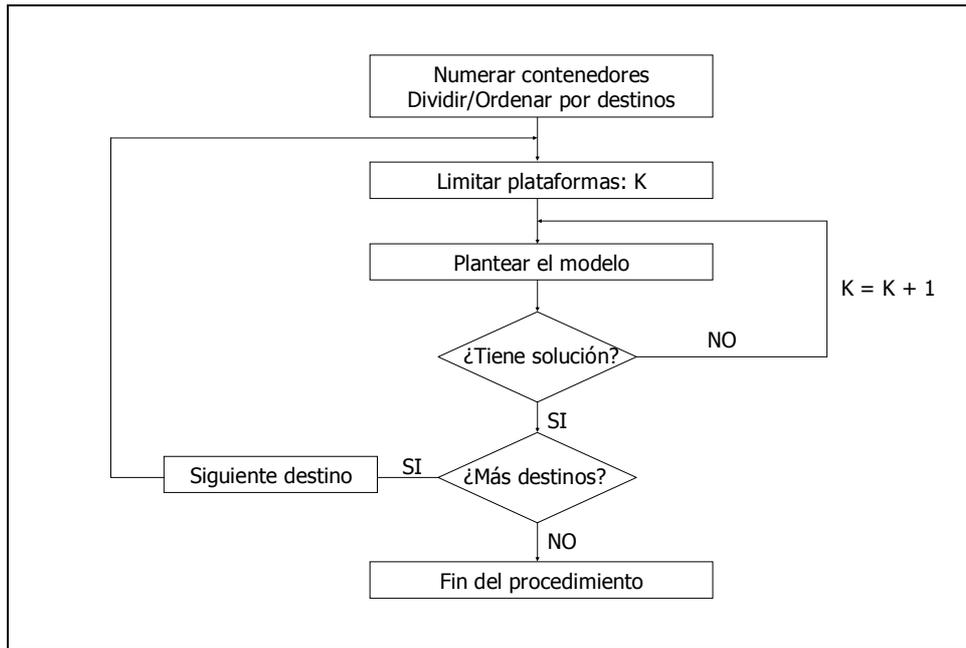


Figura 2. Esquema del procedimiento de planificación del trasbordo.

6.3. Modelo de programación lineal

El objetivo de este modelo es la generación automática de los planes de trasbordo de los contenedores que tienen un mismo destino a unas determinadas plataformas.

6.3.1. Variables del modelo

Para ello las variables del modelo están agrupadas en una matriz de intercambio X , cuyos elementos x_{ik} tomarán distintos valores según la posición en la que esté cargado el contenedor i sobre la plataforma k ó el valor cero si el contenedor i no está cargada en la plataforma k .

La propia definición de la variable ya lleva unas restricciones iniciales, puesto que un contenedor sólo puede ser cargado en una plataforma y cada plataforma está limitada a un máximo de tres contenedores. Por tanto las primeras restricciones son:

$$\sum_{i=1}^n x_{ik} \leq 6 \quad \forall k \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^m x_{ik} \leq 3 \quad \forall i \quad (2)$$

Para poder establecer algunas restricciones se asocia a la matriz X la matriz booleana D , cuyos términos d_{ij} valdrán 1 si $x_{ij} \neq 0$ y 0 si $x_{ij} = 0$. Evidentemente también estos términos estarán sujetos a sus correspondientes restricciones.

6.3.2. Restricciones del modelo

Las restricciones que limitan las soluciones en el trasbordo de los contenedores vienen originadas por las características de las plataformas y el tipo de mercancías. Por ello, cada restricción relaciona la base de datos de tipo de plataforma y de cada uno de los contenedores, resumidas en las matrices A y B, con las variables recién definidas.

Se incluyen a continuación algunas restricciones representativas que componen el modelo:

* Restricciones de la longitud de cada plataforma

La suma de las longitudes de los contenedores asignados a una plataforma ha de ser menor o igual a la longitud de la plataforma:

$$\sum_{i=1}^n a_{i3} \cdot d_{ik} \leq b_{k3} \quad \forall k \quad (3)$$

Las restricciones correspondientes a la carga máxima de cada plataforma y la carga por metro lineal son similares a la anterior pero con sus correspondientes parámetros.

* Restricciones de la carga por eje

Carga por eje menor o igual a la que corresponde a cada plataforma y menor que 22,5 Tm (límite marcado por la infraestructura de la vía).

Esta restricción presenta una gran casuística, porque depende del tipo de plataforma, que puede ser de dos o cuatro ejes, y de la posición del contenedor. En la figura 3 se incluye, a modo de ejemplo, la situación generada cuando la carga está situada en el primer extremo de la plataforma:

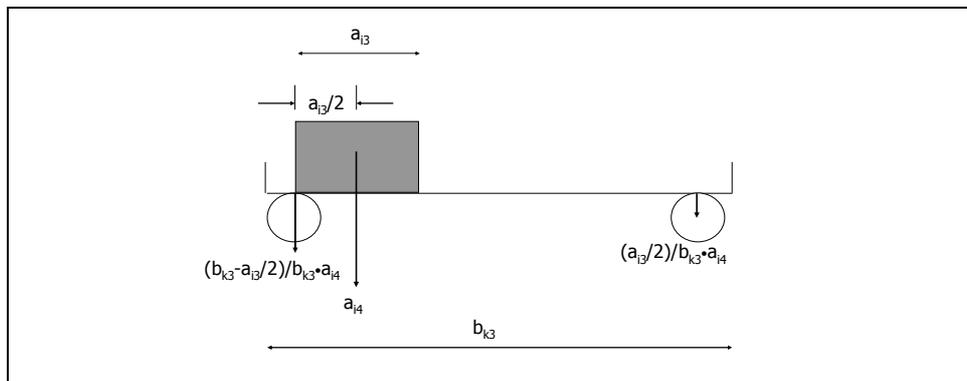


Figura 3. Distribución de cargas por ejes de un contenedor situado en el primer extremo de la plataforma.

Para poder introducir las cargas sobre cada uno de los ejes en las restricciones se definen los parámetros n_{ik} y m_{ik} , que representan la carga correspondiente sobre cada uno de los ejes. Estos parámetros en el caso de la figura 3 valdrían:

Si: $x_{ik} = 1$; entonces: $m_{ik} = (b_{k3} - a_{i3}/2) / b_{k3} \cdot a_{i4}$ (4)

$$n_{ik} = (a_{i3}/2) / b_{k3} \cdot a_{i4} \quad (5)$$

A partir de aquí las expresiones que agrupan todas las restricciones de la carga para el primer eje son:

$$\sum_{i=1}^n m_{ik} \leq b_{k6} \quad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n n_{ik} \leq 22,5 \quad \forall k \quad (7)$$

Lo cual sería extensible al segundo eje. Las diferentes expresiones de m_{ik} y n_{ik} cubren todos los casos posibles de cargas en los ejes dependiendo de las plataformas, los contenedores y sus posiciones.

* Restricciones del equilibrio en las cargas

La diferencia entre cargas por eje no debe superar el valor máximo tolerable por cada plataforma:

$$\sum_{i=1}^n (m_{ik} - n_{ik}) \leq b_{k7} \quad \forall k \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n (n_{ik} - m_{ik}) \leq b_{k7} \quad \forall k \quad (9)$$

* Restricciones de incompatibilidad de cargas

Estas restricciones tienen su origen en la incompatibilidad entre materias peligrosas cargadas según normativa RID/IG43. Estas materias no pueden compartir plataforma, por lo que la expresión matemática de esta restricción es:

$$\sum_{i=1}^n a_{i5} \cdot d_{ik} \leq 1 \quad \forall k \quad (10)$$

6.3.3. Función objetivo

El objetivo es minimizar los movimientos de la grúa. Esto significa minimizar los movimientos de desplazamiento de los contenedores de un tren a otro. Para ello se utiliza una propiedad del producto de series crecientes de números, que nos dice que el mayor valor posible del producto de dos conjuntos de números asociados de dos en dos es aquel resultante de multiplicar los números ordenados de forma creciente en cada conjunto dos a dos.

La función objetivo del modelo es:

$$\text{Máx } z = (a_{i6})^T \cdot x_{ik} \cdot b_{i7} \quad (11)$$

6.4. Tratamiento informático del modelo

Para abordar de forma informática el modelo presentado se van a utilizar dos herramientas informáticas. Por una parte, el programa EXCEL relaciona las diferentes plataformas y contenedores con sus respectivas bases de datos y a través de una macro se agrupan por destinos los contenedores y se les asocia las plataformas receptoras. Esta información es importada desde una aplicación creada sobre el programa AIMMS, que contiene el modelo de programación lineal. La solución que aporta este software es la ubicación de cada uno de los contenedores en el tren saliente. Finalmente los datos son devueltos a EXCEL para su presentación final.

7. Conclusiones

En la creación de la red ferroviaria compatible en Europa, Port Bou representa uno de los puntos de estrangulamiento, cuyo estudio y análisis es imprescindible para el desarrollo del transporte combinado. El éxito de sus mejoras potenciales está directamente relacionado con la cuota de mercado del ferrocarril en el corredor del Mediterráneo. En este contexto, tiene sentido el estudio de la automatización de los planes de trasbordo.

En la creación del modelo se han limitado las múltiples posibilidades debidas a la gran variedad de contenedores y plataformas. Sin embargo, el trabajo sí permite ver la estructura del modelo y analizar las posibles formas de abordarlo. Con los resultados obtenidos, se puede concluir que el problema es abordable desde la programación lineal.

Las herramientas informáticas permiten la búsqueda de soluciones para datos concretos con el modelo creado. Sin embargo, la operatividad de estas herramientas disminuye con el número de variables a utilizar, es decir, con el número de vagones y contenedores que compongan los trenes entrantes y salientes. La utilización de variables enteras dificulta de forma notoria la búsqueda de soluciones óptimas. Cuando el número de variables es elevado, cercano a las 500 variables, la aplicación informática muestra serias dificultades para buscar la solución óptima. A este respecto, está previsto continuar esta investigación para el caso de gran número de variables.

Los análisis, modelos y formas de trabajo son fácilmente aplicables también a los planes de carga en terminales carretera-ferrocarril o barco-ferrocarril, ya que el problema presenta una estructura muy similar. Esto permite abrir el abanico de las posibilidades del modelo iniciado en este trabajo, con pequeñas variaciones, a todas las terminales en las que se carguen contenedores sobre trenes, no sólo a las terminales con trasbordo de mercancías de tren a tren.

Referencias

- Arnold, P.; Peeters, D.; Thomas, I. (2004). Modelling a rail/road intermodal transportation system. *Transportation Research*. Vol. 40, Part E, pp. 255-270
- Ballis, Athanasios y Golias, John (2004). Towards the improvement of a combined transport chain performance. *European Journal of Operational Research*. Nº 152, pp 420-436.
- Carrasco, J.; Mataix, C.; Ponce, E.; González, J. (2005). *INTERFACE. Final Report for Publication*.
- Dirección General de Energía y Transporte de la Comisión Europea (2003). *Revitalización de los ferrocarriles europeos*.
- Dirección General de Energía y Transporte de la Comisión Europea (2004). *Trans-european transport network*.

Dirección General de Energía y Transporte de la Comisión Europea (2004). *EU Energy and Transport in figures. Statistical pocketbook 2004*.

Mattfeld, D.C. y Kopfer, H. (2003). Terminal operations management in vehicle transshipment. *Transportation Research*. Vol. 37, Part A, pp 435-452.

Ortiz, Alberto. *Estudio del modo de operaciones de un puente grúa para el intercambio de contenedores entre trenes mediante una herramienta de simulación* (2002). ETSI Industriales de Madrid (UPM). Proyecto fin de carrera.