

APLICACION DEL MODELO DEL TRANSPORTE CON LIMITACION DE VEHICULOS DE DISTRIBUCION, AL CASO DE OPTIMIZACION DE LA FLOTA DE CAMIONES DE UNA EMPRESA CONSERVERA

José A. Alfaro y Javier Faulín
Dpto. Economía y Estadística
Universidad de Navarra, 31.080 Pamplona

Resumen:

De acuerdo con el problema clásico del transporte, se trata de establecer una versión del mismo que permita obtener un valor mínimo en los costes de distribución de una empresa conservera de Navarra. Se plantean diversos modelos de programas lineales adaptados a la minimización de los costes de distribución. A partir de ellos, se encuentra la solución óptima de gestión de mercancías. Finalmente, se calculan las soluciones óptimas para cada uno de los intervalos de carga de los vehículos de transporte.

Palabras clave:

Logística, Método del transporte, Programación lineal, Vehículos de distribución.

1. INTRODUCCION.

Los métodos de transporte para la resolución de problemas de distribución de mercancías entre m orígenes y n destinos son clásicos dentro del estudio de la programación lineal. George B. Dantzig (1963) recogió en su libro "Linear Programming and Extensions", los rudimentos de las técnicas lineales operativas, y en particular, de los modelos del transporte (pp.299-315 y 404-432). La resolución de dichos modelos mediante el método simplex, ya había sido abordada por Dantzig (1951) anteriormente. Estos estudios fueron precedidos de los trabajos de Kantorovich (1939) y de Hitchcock (1941). El primero formuló problemas de ubicación de tareas, a distintos tipos de máquinas, mediante modelos de estructura similar a la de los clásicos del transporte que desarrolló Dantzig. El segundo desarrolló los problemas del transporte en su concepción clásica actual, aunque no pudo encontrar el método de resolución.

Después de su exposición clásica, se han expuesto numerosas variantes del problema del transporte y de sus métodos de resolución. Así, el propio Dantzig (1963, pp.404-432) construyó el problema del transporte de mercancías con pesos. Casi de manera simultánea Eiseman (1964) elaboró una generalización del método *stepping stone* para resolver un problema de carga de máquinas. El método *stepping stone* había sido desarrollado por Charnes y Cooper (1954) en los primeros números de la revista Management Science. Todas estas técnicas de generalizar, bien los modelos del transporte, bien los algoritmos del transporte, se han prolongado en décadas sucesivas. Durante los años setenta, Wlodzimierz Szwarz (1975) empleó los modelos aditivos del transporte ($c_{ij}=u_i+v_j$) para abordar los problemas de *shoploading* y de diseño agregado de la producción. De igual suerte, Evans (1984) desarrolló los llamados problemas factorizados del transporte, que pueden ser resueltos óptimamente por el método de la esquina noroeste. Asimismo, Denardo, Rothblum y Swersey (1988), construyeron un modelo de transporte en el que los costos dependían del orden de llegada de las

mercancías o ítems.

En la presente exposición, se pretende realzar el papel que realizan los vehículos de distribución en una empresa conservera dentro del problema clásico del transporte, que se puede revisar en las referencias de Moore, Lee y Taylor (1993, pp. 176-243); Anderson, **¡Error! Marcador no definido.**Sweeney y Williams (1994, pp. 272-342); Winston (1994, pp. 338-393);...

2. EL PROBLEMA DE LOS VEHICULOS DE DISTRIBUCION.

Es necesario explicar inicialmente, que el problema de los vehículos de distribución, toma su base en los modelos de transporte clásico, en los que el vehículo de distribución tiene una ruta simple (origen i , destino j , origen i), en contraposición con los problemas del viajante de comercio (problema TSP). En estos últimos problemas se trata de diseñar recorridos amplios en los que se optimice el coste del transporte. Para su resolución es necesario emplear técnicas de optimización combinatoria, como puede ser *simulated annealing* o *búsqueda tabú*. Por el contrario, el interés del presente estudio se refiere a la resolución de rutas óptimas simples de transporte en las que el vehículo forma parte básica del problema.

Tomando como punto de referencia el trabajo de Faulín, Alfaro y Ciordia (1995), se trataría de describir el papel que representa el vehículo de reparto como restricción en la distribución de mercancías. Puede citarse también como elemento descriptivo del vehículo de distribución a Ballou (1987 pp.97-133) (1991 pp.185-227), que hace un estudio detallado de los medios clásicos de distribución de mercancías: ferrocarril, barco, oleoducto, avión y camión. De todos estos medios, para centrar nuestro estudio, haremos referencia siempre al camión como vehículo de distribución, de modo que su visión material sirva de herramienta intuitiva para la construcción de los sucesivos modelos lineales.

Una vez que se supone conocido el problema clásico del transporte por la bibliografía anteriormente presentada, es necesario introducir la notación básica de construcción del modelo. Esto se desarrolla en el siguiente epígrafe.

2.1 Definición del problema en su forma general:

Se trata de un problema del transporte en el que existen m orígenes, que ofertan s_i ($i=1,2,...,m$), y n destinos, que demandan d_j ($j=1,2,...,n$), unidades de mercancía, respectivamente. Para la distribución de las unidades de mercancía se disponen de q camiones. Las ofertas y las demandas se expresan en múltiplos de unidades de distribución de carga (udc). Los camiones que se manejen tendrán medida su carga en múltiplos de las udc. En Faulín, Alfaro y Ciordia (1995) se han desarrollado dos modelos lineales que permiten optimizar los tiempos de distribución total de la mercancía en dos situaciones: i) cuando existe una ligadura espacial entre los vehículos y los orígenes, y ii) cuando la relación vehículo-origen la ha de hallar el propio programa lineal. Aquí se tratará de englobar estos dos problemas y luego de generalizarlos. Para esto, se va a desarrollar el segundo modelo. En cuanto que en la aplicación práctica que se va a realizar en esta comunicación, el programa lineal utilizado tiene una mayor similitud con el segundo modelo, tan sólo se va a explicar éste dentro del presente apartado.

2.1.1. Minimización del coste de distribución con limitación del número de vehículos de reparto:

Se tratará de plantear un programa lineal que optimice el coste total de todo el proceso distributivo. Recogiendo la notación empleada anteriormente, tendremos la siguiente descripción del problema. Se trata de un caso en el que aparecen m orígenes y n destinos que se deben comunicar con q camiones y r chóferes, minimizando el coste de transporte total. Presentaremos las siguientes hipótesis, que rigen para este caso.

Q1) Las restricciones de oferta y demanda de cada origen y destino deben ser satisfechas. Además, el problema se supondrá equilibrado.

Q2) El número de camiones disponibles (q) debe ser mayor que el número de orígenes (m), y menor que la cantidad total ofertada (y demandada) que llamaremos S .

Q3) La relación entre el número de chóferes (r), y el número de camiones (q), debe ser tal que las asignaciones que se realicen sean posibles. Esto depende más que de la relación directa entre q y r , de la estructura propia del problema. En este modelo se supondrá que el número de chóferes (r) es mayor que el número de camiones (q).

Q4) Los camiones están ligados al origen que se les asigne, de tal modo que cada camión siempre vuelve a su punto de origen después de hacer un viaje. Es decir, manejamos los orígenes y los camiones de manera solidaria. Por esta razón se dan los tiempos de ida y vuelta, que únicamente dependerán de los orígenes y los destinos. (Hipótesis de ligadura espacial de cada camión).

Q5) La capacidad de los vehículos se supondrá para este caso de una udc, con objeto de manejar camiones de las mismas características.

Es necesario conocer unas estimaciones previas de los costes unitarios c_{ijkl} puesto que tienen que ser conocidos para el buen manejo del problema de transporte. Supondremos la descripción de las variables siguientes:

x_{ijkl} = número de viajes del camión k , con el chófer l , desde el origen i al destino j , con $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$, $l=1,2,\dots,r$ y $k=1,2,\dots,q$. Lo cual representa un total de $mnqr$ variables.

y_{ik} = variables binarias que señalan si el camión k es asignado al origen i , con $k=1,2,\dots,q$ e $i=1,2,\dots,m$. Aparecen, por tanto, qm variables.

z_{kl} = variables binarias que señalan si el chófer l es asignado al camión k , con $k=1,2,\dots,q$ y $l=1,2,\dots,r$. Ahora, podemos contar qr variables.

De esta forma, y suponiendo que las demandas y ofertas de los orígenes y destinos se denotan de la manera usual (s_i y d_j) es posible escribir el siguiente programa lineal de optimización de costes:

[Programa T1]

$$\min T = \sum_{l=1}^r \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijkl} x_{ijkl}$$

sujeto a:

$$1) \sum_{l=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{ijkl} = s_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$2) \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q x_{ijkl} = d_j \quad j=1,2,\dots,n$$

$$3) \sum_{i=1}^m y_{ik} = 1 \quad k=1,2,\dots,q$$

$$4) \sum_{k=1}^q y_{ik} \geq 1 \quad i=1,2,\dots,m$$

$$5) \sum_{l=1}^r z_{kl} = 1 \quad k=1,2,\dots,q$$

$$6) \sum_{l=1}^r z_{kl} \leq 1 \quad l=1,2,\dots,r$$

$$7) x_{ijkl} \leq M y_{ik} \quad \forall i,j,k,l$$

$$8) x_{ijkl} \leq M z_{kl} \quad \forall i,j,k,l$$

$$9) x_{ijkl} \geq 0 \text{ y entero}, \quad y_{ik} = 0 \text{ ó } 1, \quad z_{kl} = 0 \text{ ó } 1.$$

Es fácil comprobar que la función objetivo responde a la minimización de los costes de las variables de asignación. Las restricciones 1) y 2) pretenden asegurar el abastecimiento de las ofertas y las demandas de cada origen y destino, respectivamente. Las restricciones 3) y 4) implican que cada camión se asigna a un origen y que cada origen tiene como mínimo un camión. En lo referente a las 5) y 6) tendremos que cada camión tendrá un chófer, y cada chófer como máximo un camión. Finalmente, las restricciones 7) y 8) pretenden limitar los transportes a los casos en los que un determinado camión ya dispone de chófer, y aquél ha sido asignado al correspondiente origen. Además, según 9) las variables han de ser enteras o binarias.

En relación con la dimensión del problema [T1], es necesario advertir que tiene **$mnqr + mq + ql$** variables y **$2m + 2q + 2mnqr + n + r$** restricciones. Aquí puede observarse que un crecimiento excesivo del número de orígenes, destinos, camiones o chóferes, puede originar un tamaño del problema intratable a través de las utilidades informáticas más sencillas (LINDO, QBS, AB:QM,...). Por ello, es importante el control de estos parámetros del sistema de optimización.

2.2 Comentarios sobre la aplicación del programa [T1] en la optimización de los costes de transporte de una empresa conservera:

A continuación desarrollaremos la plausibilidad de aplicar el modelo [T1] para

mejorar la red de transporte de una empresa conservera de la Ribera de Navarra. Es posible realizar una apología de la aplicación de este modelo, aunque obviamente necesitará de algunos cambios adaptativos para la resolución adecuada del problema de costes. De esta forma, se pueden hacer los comentarios siguientes acerca de la validez del modelo:

i) Muchas de las empresas conserveras de la Ribera de Navarra son de tamaño pequeño, y las redes de distribución a las que van a dar lugar tienen una dimensión aceptable. Por ello, es posible aplicar a este tipo de problemas modelos de programación lineal, sin preocuparse por su excesiva dimensión.

ii) En muchas de las empresas de este sector, únicamente existen uno o dos orígenes o uno o dos destinos, dependiendo si se están desarrollando labores de recolección de materia prima, o de distribución de producto elaborado. Este hecho permite una dimensión controlada del problema. Por esta razón, este modelo es especialmente adecuado para empresas del sector conservero.

iii) Se hace necesario tener en cuenta que además de todas las restricciones que se han apuntado para el modelo [T1], puede ser necesario incluir otras que permitan incorporar al modelo nuevas condiciones específicas de la situación de la industria conservera. Por ejemplo, pueden darse unas condiciones concretas de las cargas de los camiones, o bien de la manera en la que ha de realizarse la recogida de materia prima, o bien, pueden apuntarse diversas especificaciones en la forma de asignar los camiones a los chóferes.

iv) Es importante establecer de manera adecuada el cálculo de los costes c_{ijkl} . Obsérvese que en dicho cálculo pueden aparecer involucrados costes de muy diversa índole: costes dependientes de la distancia entre orígenes y destinos, costes de cada camión y de cada chófer,...

v) El programa [T1] sirve como elemento de partida para la resolución del problema de minimización de costes. Por supuesto, será necesario que de acuerdo con las necesidades del problema se incluyan otro tipo de restricciones como las de implicación o alternativa.

3. CASO PRACTICO DE APLICACION: OPTIMIZACION DE RUTAS DE UNA EMPRESA CONSERVERA.

3.1. Ambito de aplicación:

A la hora de elegir la empresa en donde realizar una aplicación del modelo descrito en apartados anteriores, se tuvieron en cuenta, ante todo, dos aspectos: que fuera representativa dentro del sector conservero, y que existiera la posibilidad de acceder a los datos necesarios para realizar un trabajo serio y completo.

Una vez seleccionada la empresa, había que determinar la amplitud temporal del trabajo a realizar. La importancia de la campaña del espárrago en la industria conservera, y la posibilidad de aplicar un programa de optimización de rutas, hizo que se tomaran los datos de la campaña del espárrago de 1995 (meses de abril, mayo y junio), como base para realizar la aplicación que aquí se presenta.

Durante la campaña del espárrago, la empresa trabaja del siguiente modo: el día anterior estima el número de kilos que se van a recoger de los distintos centros de

aprovisionamiento (Valdealgorfa, Cáteda, Arguedas y Guadalajara), a la vez que recibe de Zaragoza las órdenes de carga de producto final para el almacén que tiene la empresa en esta ciudad. Una vez que tiene todos estos datos, la persona encargada de estas actividades decide, basándose únicamente en su experiencia, es decir, sin utilizar ningún tipo de modelo, qué rutas van a realizar los diferentes camiones y chóferes. Esto no impide que, en determinados días haya que realizar viajes no previstos, bien sea por la realización de un pedido urgente de producto final, o bien porque ese día se recogieron más espárragos de los previstos. El número total de días en los que hubo actividad de transporte fue de sesenta y dos.

Una vez conocida la metodología de la empresa, se planteó la posibilidad de facilitar a la empresa un modelo decisional a la hora de determinar las rutas óptimas, tanto desde el punto de vista de la distancia, como de la combinación óptima chóferes-camiones.

3.2. Metodología:

En este apartado se van a describir los pasos realizados en la elaboración del programa lineal utilizado para mejorar los costes de transporte de la empresa.

3.2.1. Obtención de los costes:

Para poder resolver un problema que implica la minimización de los costes de transporte diarios, es necesario obtener los costes de transporte de cada viaje entre los distintos centros (de distribución o aprovisionamiento), y con cada combinación chófer-camión.

La compañía, situada en la localidad navarra de Carcastillo, dispone de cinco vehículos. Las características técnicas de los mismos para determinar los costes de transporte. De los camiones, el número 5 tan sólo se utiliza durante la campaña del espárrago y para trayectos cortos, concretamente para ir a la localidad de Cáteda, distante unos 20 kms. de la factoría. Además, la empresa tiene contratados a tres chóferes, que se dedican a la conducción de los vehículos y al trabajo en la fábrica. De estos tres chóferes, uno de ellos sólo tiene licencia para conducir los vehículos 2, 3 y 5. El régimen salarial de los mismos es distinto: mientras dos de ellos tienen un salario base, y cobran por las horas extras, el tercero tiene un salario fijo, independientemente de las horas trabajadas.

Con los datos dados por la empresa, junto con la matriz de distancias de las localidades visitadas por los camiones durante la campaña, se pudieron determinar las siguientes magnitudes: costes totales (incluyendo los costes variables y los costes fijos), costes totales por kilogramos transportados suponiendo que los camiones están a plena capacidad y, por último, los costes variables (combustible y horas extras) incurridos en cada viaje. De estos costes, los dos primeros tenían interés, en cuanto que daban una idea aproximada del coste real incurrido en cada viaje. Sin embargo, son los costes variables los que realmente hay que tener en cuenta a la hora de optimizar las rutas, ya que son los realmente susceptibles de cambio como consecuencia de realizar una combinación u otra.

3.2.2. Descripción del programa lineal:

Este programa fue planteado tomando como base los expuestos en Gómez y otros (1991), Pooley y otros (1994) y Sankaran y otros (1994), y en función de las características propias de la empresa. Las variables, función objetivo y restricciones del mismo se indican a continuación:

a) Variables de decisión:

x_{ijkl} = número de viajes realizados conjuntamente por el chófer l y el camión k desde el nodo origen i al nodo destino j , con $i \neq j$, donde $l=1,2,3$ y $k=1,2,3,4$.

El número de variables para un problema con m nodos sería: $[m(m-1)(2*4+1*2)]$. A la hora de determinar las variables de decisión, hay que recordar que el camión 5 sólo se tiene en cuenta cuando hay que realizar viajes a Cáteda, y el hecho de que el chófer 2 sólo tiene licencia para conducir los vehículos 2, 3 y 5. Por último, el número de combinaciones "nodo a nodo" es $(m-1)m$, ya que no tiene sentido incluir variables x_{iikl} . Hay que tener en cuenta que a la hora de resolver los problemas, no se utilizan todas, ya que existen variables que nunca tomarán valor positivo en la solución óptima. Por ejemplo, no se tendrán en cuenta aquellas variables que implican realizar un viaje desde un centro de aprovisionamiento (Arguedas, Cáteda, Valdealgofa y Guadalajara) a un centro de distribución (Zaragoza, Bilbao o cualquier otra capital de provincia), en cuanto que no se pueden transportar de forma conjunta, producto final y materias primas. El nodo relacionado con la factoría va a ser el correspondiente a Carcastillo. Dicho nodo se caracteriza porque de él van a salir todos los camiones, y al mismo han de volver al final del día. Por tanto, representa, tanto al nodo origen como al nodo final.

b) Función objetivo:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l c_{ijkl} x_{ijkl}$$

Representa la minimización de los costes de transporte, donde c_{ijkl} son los costes variables al realizar el chófer l y el camión k , el viaje desde el origen i al destino j .

b) Restricciones generales:

$$1) \sum_i \sum_k \sum_l v_k x_{ijkl} \geq D_j \quad j = 1, \dots, m$$

$$2) \sum_i \sum_j \sum_l t_{ijkl} x_{ijkl} \leq T_l \quad l = 1, 2, 3$$

$$3) \sum_i \sum_j \sum_k t_{ijkl} x_{ijkl} \leq T_k \quad k = 1, \dots, 4$$

$$4) \sum_i \sum_k x_{ijkl} - \sum_i \sum_k x_{jikl} = 0 \quad i = 1, \dots, m, \quad l = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

La explicación de estas restricciones es la siguiente:

(1): la suma total de la capacidad de los camiones (v_k) que llegan a cada nodo, debe ser mayor o igual que las cantidades demandadas (producto final) u ofertadas (materia prima) en dichos nodos (D_j). En el caso en los que un vehículo venga de recoger

materias primas de otra localidad, se restará de v_k , el número de kilogramos recogidos en dicho nodo. El número de restricciones de este tipo es $(m-1)$, ya que el nodo correspondiente a Carcastillo no es necesario incluirlo, en cuanto que al cumplirse las demandas de los demás nodos, y teniendo en cuenta las restricciones de flujo, (4), no es necesaria su inclusión.

(2): el tiempo total que cada chófer puede estar conduciendo cada día debe ser menor que T_i , y donde los coeficientes t_{ijkl} representan el tiempo en horas que cuesta al camión k y al chófer l realizar un viaje desde el nodo i al nodo j , más el tiempo de carga/descarga. Para la obtención de T_i , se determina previamente cuál es el viaje de mayor duración que puede realizar un chófer durante ese día. Así, T_i tomará el valor de la duración de dicho viaje, incluyendo los tiempos de carga y descarga en cada nodo. Es posible que haya otras rutas de una menor duración, que por otro tipo de razones (horario restringido de recogida, por ejemplo), no puedan llevarse a cabo. Para evitar la inclusión de estos viajes en la solución óptima, se añadirán restricciones específicas.

(3) El tiempo total que cada camión puede estar conduciendo cada día debe ser menor que T_i , que representa la duración del viaje o combinaciones de viajes que, como máximo, puede realizar cada camión en un día (incluyendo tiempos de carga y descarga). Esta cota será diferente, en función de las localidades presentes en cada problema, del mismo modo que ocurría con las restricciones (2).

(4) Representan las restricciones de flujo: todo camión y chófer que entre a cada nodo debe salir del mismo. En este caso, no se incluye el nodo correspondiente a la empresa, en cuanto que si se cumple el equilibrio en el flujo de $(m-1)$ nodos de una red de m nodos, también se cumple en el n -ésimo (Bazaraa y otros, 1989).

Analizando los 62 días en los que hubo viajes a lo largo de la campaña del espárrago, estos pueden dividirse en una serie de días estándar, según los nodos incluidos en los mismos:

- 1) Viajes únicamente a Zaragoza, Arguedas y Cáteda (7 días).
- 2) Viajes a Zaragoza, Arguedas, Valdealgofa y Cáteda (27 días).
- 3) Viajes a Zaragoza, Arguedas, Valdealgofa, Cáteda y Guadalajara (12 días).
- 4) Viajes a Zaragoza, Arguedas, Valdealgofa, Cáteda y otra ciudad donde transportar producto final, sin necesidad de pernoctar (4 días).
- 5) Viajes a Zaragoza, Arguedas, Valdealgofa, Cáteda y una ciudad en donde el chófer tuvo que pernoctar; durante la campaña de 1995, estas ciudades fueron: Valencia, Granada, Málaga, Sevilla y Andorra. (12 días).

La existencia de estos días estándar hizo que, en vez de ejecutar cada día, pudieran resolverse únicamente aquellos días más significativos de cada uno de los cinco días estándar.

Con este fin, se realizaron programas estándar para resolver los problemas asociados a cada uno de los grupos. Dichos programas incluían, tanto las restricciones generales descritas anteriormente, como una serie de restricciones, que debido a su especificidad, no se cree necesaria su explicación.

3.3 Resultados y conclusiones:

En este apartado se van a mostrar ejemplo de los resultados obtenidos al implementar cada uno de los grupos estándar. En las conversaciones mantenidas con los responsables de la empresa se enfatizó en la necesidad de que este trabajo facilitara la

eficiencia en la toma de decisiones, no sólo en lo que respecta a los costes, sino sobre todo en la posibilidad de realizar la elección de rutas de la forma más rápida posible. Con este fin, y tomando como base los días estándar descritos en apartados anteriores, se llegó a la conclusión de que lo más adecuado era la realización de unas tablas en las que en función del grupo y de las cantidades demandadas en cada nodo, se supiera de forma inmediata, la ruta y combinación chóferes/camiones óptimas. Un ejemplo para el grupo tres se muestra en la tabla 3.

En esta tabla se dan una serie de intervalos de demanda y oferta para los nodos de Zaragoza, Arguedas, Valdealgorfa, Guadalajara y Cáteda. La longitud de los intervalos se obtuvo en función de las capacidades y según los diferentes resultados que se iban obteniendo a la hora de implementar cada uno de los problemas. Para las demandas de la tabla tres, la solución final obtenida fue la siguiente:

CAMION2-CHOFER1 : [C-G-C]
CAMION3-CHOFER2 : [C-V-C]; [C-Ca-C]
CAMION4-CHOFER3: [C-Z-A-C]

TABLA 3

	KGS.		KGS.		KGS.
Z	[+9000, 10000]	A	[+7500, 10000]	V	[0,1500]
G	[+1500, 7500]	Ca	[0, 1500]		

El coste variable asociado a esta solución asciende a 19.762 ptas. De aquí se puede observar cómo el ahorro en costes obtenido en cada viaje al optimizar las rutas será de una cuantía bastante pequeña. Esto se debe a que en la estructura de los costes de transporte de la empresa, los costes variables representan únicamente una tercera parte de los costes totales (alrededor de 5.400.000 ptas.). Este hecho permite obtener la conclusión de que cualquier trabajo realizado con el fin de ahorrar costes, dará lugar a resultados que para la empresa no supondrán una cuantía importante, al menos de tipo monetaria.

Sin embargo, esto no es óbice para que esta aplicación tenga otro tipo de ventajas para la empresa:

- Permite realizar las rutas de forma rápida y eficiente.
- Analizando las soluciones óptimas, se pueden obtener datos sobre la infra o sobreutilización de determinados chóferes y/o camiones.
- Se pueden realizar diferentes análisis de sensibilidad: inclusión de nuevos chóferes y camiones, eliminación de algunos de los vehículos, variación de los costes en determinadas conexiones, exclusión de restricciones,....

Por último, hay que destacar que el programa lineal utilizado para la implementación de los programas lineales ha sido el Super LINDO. Este paquete informático, que permite resolver problemas con más de 1000 variables y 500 restricciones, ha sido determinante para la ejecución de cada uno de los programas lineales en un tiempo adecuado, ya que otras versiones del programa hubieran invertido una cantidad de tiempo prohibitiva.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D.R., Sweeney, D.J. y Williams, T.A. (1994): "An Introduction to Management Science", St.Paul, West Publishing Co.
- Ballou, R.H. (1987): "Basic Business Logistics", Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
- Ballou, R.H. (1991): "Logística empresarial", Madrid, Ediciones Díaz de Santos. Traducción de *Basic Business Logistics*.
- Bazaraa, M.S., Jarvis, J.J., Sherali, H.D. (1989) "Linear Programming and Network Flows". Wiley&Sons.
- Charnes, A. y Cooper, W.W. (1954): "The Stepping Stone Method of Explaining Linear Programming in Transportation Problems", *Management Science*, Vol.1, nº1.
- Dantzig, G.B. (1951): "Application of the Simplex Method to a Transportation Problem", en "Activity Analysis of Production and Allocation", New York, John Wiley.
- Dantzig, G.B. (1963): "Linear Programming and Extensions" Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Denardo, E.V., Rothblum, U.G., Swersey, A.J. (1988) "A Transportation Problem in which Costs Depend on the Order of Arrival". *Management Science*, Vol.36, No.2.
- Eiseman, K. (1964): "The Generalized Stepping Stone Method for the Machine Loading Problem", *Management Science*, Vol. 11, nº1.
- Evans, J.R. (1984): "The Factored Transportation Problem" *Management Science*, 30 pp.1021-1024.
- Faúlín, J., Alfaro, J.A. y Ciordia, P. (1995) : "Problema del transporte con limitación de vehículos de distribución" Santiago de Compostela, Actas de la IX Reunión de ASEPELT-España.
- Gómez, A.C., Salazar, A. (1991) "Volúmenes óptimos de transporte y transformación en el sector remolachero-azucarero español". *Investigación agraria: economía*. Vol.6, Nº1.
- Hitchcock, F.L. (1941): "The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities" *Jour. Math. and Phys.*,20,pp.224-230.
- Kantorovich, L.V. (1939): "Mathematical Methods in the Organization and Planning of Production". Publication House of the Leningrad State University. Traducción al inglés en *Management Science*, Vol.6, 1960, pp. 366-422.
- Moore, L.J., Lee, S.M. y Taylor, B.W. (1993): "Management Science", Boston, Allyn and Bacon.
- Pooley, J. (1994) " Integrated Production and distribution Facility Planning at Ault Foods". *Interfaces*, Vol.24, Nº4.
- Sankaran, J.K., Ubgade, R.R (1994) "Routing Tankers for Dairy Milk Pickup". *Interfaces*, Vol.24, Nº5.
- Santiago Suárez, A. (1972): "La programación económica por el método del transporte", Madrid, Publicaciones de la Escuela Nacional de Administración Pública.
- Szwarc, W.(1975): "Instant Transportation Solutions" *Naval Res. Logist. Quart.*,22 pp.427-440.
- Thomson, J.M. (1971): "Halfway to a Motorized Society" *Lloyds Bank Review*, nº102, octubre.
- Thomson, J.M. (1976): "Teoría económica del transporte", Madrid, Alianza Universidad.
- Winston, W. (1994): "Operations Research. Applications and Algorithms", Belmont, California, Wadsworth Publishing Company.