UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

El modelo del problema de transporte. Aplicación práctica a una red logística.

Autor/es

JOSÉ MANUEL PEDROSA CANTERO

Director/es

Zenaida Hernández Martín y ÁNGEL ARANDA AYENSA ,

Facultad

Facultad de Ciencias Empresariales

Titulación

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Departamento

MATEMÁTICAS Y COMPUTACIÓN

Curso académico

2016-17

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

El modelo del problema de transporte. Aplicación práctica a una red logística.

Autor: D. José Manuel Pedrosa Cantero

Tutores: Prof. D. Ángel Aranda Ayensa y Dª. Zenaida Hernández Martín

CURSO ACADÉMICO 2016-2017

ÍNDICE

RESUMEN: En la actualidad, las organizaciones, deben hacer frente a un mercado global en el que hay que conciliar la satisfacción de los posibles clientes con la eficiencia económica de sus actividades. Para ello las entidades deben servirse de herramientas de diversos campos de estudio como pueden ser las matemáticas, la estadística o la sociología, para intentar optimizar el uso de sus recursos y obtener ventajas competitivas.

Este trabajo versa en cómo se puede usar la programación lineal para la resolución de problemas logísticos en el seno de una organización. Para ello nos serviremos de una interpretación general del mismo como es el algoritmo de transporte y lo trasladaremos a un caso real. Para finalizar analizaremos los resultados e intentaremos sacar con conclusiones que nos permitan interpretar los resultados bajo diferentes estados de las variables que afecten al modelo general.

ABSTRACT: Nowadays, Companies should survive in a global market where they have to find the balance between the possible customers satisfactions and the economic efficiency of their productive system. For this purpose, Companies need to use productive tools from different scopes such as Maths, Statistics or Sociology, to provide the Companies some data for the optimization of the resources, and to obtain competitive advantages.

This project is about the use of Linear Programming for solving Logistics problems, using a general interpretation of the Algorithm of Transportation applied to a real model. The work will be concluded with Results and Conclusions, that allow analyse the impact of the different variables to the results obtained, under different conditions, which affects the main Model.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando una empresa inicia su actividad productiva debe plantearse cómo ha de llevar sus productos desde sus centros de producción hasta el consumidor final. La distribución de los productos que comercialice la empresa, así como otras variables harán que la logística sea más o menos compleja y por lo tanto los costes en los que incurrirá la organización sean mayores o menores.

Con este trabajo vamos a intentar averiguar no solo las unidades de producto que debemos distribuir desde cada punto de origen hacia cada punto de demanda, sino también con qué estructura incurriremos en los mínimos costes posibles. Para ello nos serviremos de herramientas del campo matemático y de programación lineal que nos puedan resultar útiles para afrontar la distribución física de los productos que generan las empresas.

El trabajo lo dividiremos en tres bloques, en el primer apartado utilizaremos la literatura existente sobre este tipo de problemas, para estudiar y comprender algunos de los métodos de investigación operativa que abordan los problemas de distribución y que buscan la optimización de recursos. En la segunda parte nos guiaremos del modelo general del problema de transporte para emplearlo en un caso real, donde formularemos el problema a través de una función objetivo y plantearemos una serie de restricciones que nos permitan diseñar un algoritmo que implementaremos a continuación. Para finalizar, en la última sección analizaremos los resultados y los interpretaremos.

2. QUÉ ES LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

El término investigación de operaciones (IO), tiene su origen durante la Segunda Guerra Mundial y en principio fue usado en el ámbito militar para hacer referencia al conjunto de técnicas y herramientas usadas para la toma de decisiones en cuanto a la utilización de los recursos bélicos durante la contienda. Tras la guerra, el uso de estas herramientas fueron adaptadas para su empleo en el ámbito civil. En este periodo de posguerra, y debido a la gran complejidad y a la alta especialización que ya tenían las organizaciones económicas, la IO tuvo un gran desarrollo al amparo de las nuevas necesidades de organización y pasó a formar parte importante no solo de la teórica económica sino que sus herramientas son ya de uso generalizado dentro de las organizaciones.

La Investigación de Operaciones es una disciplina que intenta dar respuesta a ciertos problemas de diversa índole que surgen de las relaciones económicas, como pueden ser problemas de producción, comercialización, finanzas o con los recursos humanos, y para ello se sirve de un método científico que se apoya en diferentes técnicas y ciencias, cuyo objetivo final es aportar una solución o grupo de soluciones optimas que ayuden a los responsables en el proceso de toma de decisiones. Hillier y Lieberman (2010, p.2) definen a la IO cómo, "*Como su propio nombre indica, el objetivo de esta disciplina implica "investigar sobre las operaciones". En consecuencia, esta disciplina se aplica a la problemática relacionada con la conducción y la coordinación de actividades de una organización. En esencia la naturaleza de la organización es irrelevante, por lo cual la IO ha sido aplicada de manera extensa en áreas tan diversas como la manufactura, transporte, construcción, telecomunicaciones…"*

Desde sus comienzos la IO se ha aplicado a multitud de problemas de diversa naturaleza y en el ámbito empresarial sirve como medio para la toma de decisiones. Para generar un modelo IO que dé respuesta a un problema planteado dentro de la organización hay que seguir un método científico que consiste en una serie de etapas. De acuerdo con la clasificación que A. Taha hace en su trabajo (Investigación de operaciones 2012, p.9) las fases serían las siguientes.

- *Definición del problema de interés y recolección de datos.*
- *Construcción del modelo matemático.*
- *Deducción de la solución o soluciones.*

Como ya hemos comentado con anterioridad nuestro fin es estudiar un problema de la vida real acotándolo dentro de un modelo matemático y así poder alcanzar una solución que nos pueda servir de utilidad a la hora de tomar decisiones, en nuestro caso, dentro de las organizaciones económicas. Para poder alcanzar esta solución tenemos que emplear una serie de herramientas, nuestro trabajo va a servirse de la programación lineal para alcanzar una solución óptima.

La programación lineal es un conjunto de técnicas racionales de análisis gracias a las cuales podemos optimizar (maximizar o minimizar) una función de varias variables sujeta a una serie de restricciones. Esto hace que, a través de su método, podamos simplificar los cálculos y obtener una solución optima que se aproxime a la realidad. Normalmente estas técnicas, son muy útiles en la búsqueda de la distribución eficiente de recursos limitados como son las materias primas o los recursos humanos. Estas técnicas han sido usadas y estudiadas ampliamente en la Investigación de Operaciones.

3. EL PROBLEMA DE TRANSPORTE

Tradicionalmente, el estudio sobre la distribución física de mercancías ha sido tratado mediante técnicas de Programación dinámica y de Investigación operativa. En este apartado vamos a centrarnos en unas estructuras especiales de la programación lineal, las cuales están orientadas a resolver problemas de logística, es decir, transportar mercancías desde un origen o varios orígenes que disponen de ofertas de bienes o servicios, hacia un destino o varios destinos que tienen demandas de estos bienes o servicios. El objetivo de estos estudios es minimizar el coste total del transporte de los bienes o servicios. En boca de Hillier Frederick S. y Gerald J. Lieberman, el punto de partida sería cómo hacer frente *"a la distribución de cualquier mercancía desde cualquier grupo de centros de suministro, llamados orígenes, a cualquier grupo de centros de recepción, llamados destinos, de tal manera que se minimicen los costos totales de distribución."*

3.1. Modelo del problema de transporte

Para iniciar nuestro estudio formularemos el planteamiento general de un problema de transporte. Este problema se inicia cuando un fabricante o distribuidor quiere transportar ciertas mercancías desde sus almacenes, centros de producción u orígenes *(m)*, hacia ciertos destinos *(n)*. Cada destino tiene unas necesidades de b_j cantidades de producto y cada origen puede satisfacer de a_j cantidad de producto. El problema que nos encontramos es: ¿Qué cantidad de producto x_{ij} hay que llevar desde el origen i al destino j conociendo que cada unidad de producto tiene un costo de transporte c_{ij}? Si lo expresamos como una función matemática sería:

$$Mín\, z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

Este supuesto debe basarse en una serie de premisas:

- Supuesto de requerimiento: Cada origen tiene un suministro fijo de unidades que deben ser distribuidas completamente entre los destinos. De igual manera el destino tiene una demanda fija de cantidades a satisfacer por los orígenes.
- Supuesto de costo: el coste de distribuir cantidades desde una fabrica, almacén u origen es directamente proporcional a la cantidad distribuida. Como resumen Hillier Frederick S. y Gerald J. Lieberman *"el costo es igual al costo unitario multiplicado por el número de unidades distribuidas"*.
- Propiedad de soluciones factibles: un problema de transporte tiene soluciones factibles sólo si el sumatorio de los recursos en los *m* orígenes es igual al sumatorio de demandas en los destinos.

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_i$$

Esta propiedad se denomina balancear, y es condición necesaria para poder obtener una solución factible. Si un problema no esta balanceado o equilibrado tendremos que establecer un equilibrio, pueden suceder dos escenarios.

En el primero de ellos la oferta total es mayor que la demanda:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i > \sum_{j}^{n} b_j$$

En este caso, lo que hacemos es generar un destino ficticio, que recibirá la diferencia entre la oferta total y la demanda total. El coste de transporte seria *0* salvo si deseamos, por ejemplo, reflejar los costes de almacenamiento de aquellas cantidades que no son distribuidas.

En el segundo escenario es la demanda la que supera la oferta que la industria puede satisfacer:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i < \sum_{j}^{n} b_j$$

En este escenario podemos afirmar que el problema no tiene solución. Para poder dar una solución de modo que satisfaga al máximo la demanda, generaremos un origen ficticio cuya oferta será la cantidad de producto que falta por enviar a los puntos que tienen demanda. El coste de los envíos desde este origen ficticio en principio será de *0* salvo si quisiéramos reflejar algún coste por dejar demanda insatisfecha.

- Propiedad de soluciones enteras: Siempre que nuestro problema se exprese en unidades o valores enteros, todas las variables del problema tendrán valores enteros incluyendo la solución o soluciones óptimas.

Todas estas premisas dan lugar a una función matemática sujeta a las siguientes restricciones:

$$(PT): Mín\ z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

$$s.a: \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i \ \ para\ i = 1.2.\dots,m$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \ \ para\ \ j = 1,2,\dots,n$$

$$x_{ij} \geq 0 \ \ para\ toda\ i\ \ y\ \ j$$

Esta última formulación lineal (PT): es lo que llamaremos estructura de transporte, dónde llamaremos x_{ij} a la cantidad de unidades que se envían desde el origen *i* hacia el origen *j*. Estas cantidades son no negativas por lo tanto $x_{ij} \geq 0$.

3.2. Resolución al problema de transbordo

La resolución de los problemas de transporte puede ser llevada a cabo mediante programación lineal común, aunque existe un método específico que simplifica el trabajo: es el algoritmo de transporte. Toda la información del problema de transporte se puede resumir en una tabla como la que exponemos a continuación:

Cuadro 1

MATRIZ DE COSTOS

Costos		Destinos					
		1	2	3	…	n	Oferta
Orígenes	1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	…	c_{1n}	a_1
	2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	…	c_{2n}	a_2
	…						…
	…						…
	m	c_{m1}	c_{m2}	c_{m3}	…	c_{mn}	a_m
		b_1	b_2	b_3	…	b_n	

Fuente: Elaboración propia

3.3. El Algoritmo de transporte

Dado un problema de transporte, construiremos una solución factible (que cumpla las restricciones). Para ello los métodos más usuales son Vogel y la Esquina Noroeste aunque existen muchos más. A continuación vamos a resumir los pasos necesarios para poder hallar la solución optima de un problema de transporte cuando el objetivo es minimizar los costes. Esta técnica es conocida como el Algoritmo de transporte.

Paso 1: El primer paso que tenemos que realizar es el de balancear el problema original

Paso 2: Calculamos una solución factible básica inicial para ello podemos usar cualquiera de los métodos existentes para ello.

Paso3: Construimos una matriz de costos c_{ij} asociada a la solución factible básica que habremos calculado con anterioridad (base) siguiendo el siguiente patrón:

$$\begin{cases} c_{ij} = c_{ij}\text{, si } x_{ij} \text{ está en la base} \\ c_{ij} = 0\text{, si } x_{ij} \text{ no está en la base} \end{cases}$$

Paso 4: Con esta nueva matriz de costos, calculamos los valores de las variables duales asociadas a la base actual $u_i,..., u_m, v_j,..., v_n$. Para ello impondremos que los costes marginales de las variables básicas sean todos iguales a cero. Por lo tanto deben cumplir lo siguiente:

$$c_{ij} = u_i + v_j \text{, para } i = 1,\dots,m \text{ y } j =,\dots,n$$

Paso 5: Calculamos los valores correspondientes a los costos marginales de las variables no básicas de la siguiente forma:

$$c'_{ij} = c_{ij} - z_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j)$$

- Si para cada variable no básica se verifica que su costo marginal es no negativo $(c'_{ij} \geq 0)$, la solución actual es óptima.

- Si existe $(c'_{ij} < 0)$ entonces la solución puede ser mejorada. Tendremos que cambiar de base.

Paso 6: Como la variable x_{ij} que entra en la base tiene un cierto valor positivo que denotaremos como Θ, la oferta a_i y la demanda b_j, se desequilibran y entonces la solución ya no es factible. Para restablecer el equilibro iremos sumando o restando alternativamente Θ a las variables básicas para regenerar el equilibrio.

Así conseguiremos una solución factible, pero que no es básica, ya que tiene $m+n$ elementos. Para que sea básica, Θ debe ser lo bastante grande para que alguno de los flujos se haga cero. Le damos a Θ ese valor y sale de la base la variable cuyo valor ha hecho *0*. Con la nueva base repetiremos el proceso desde el paso 3 hasta que todos los costos marginales sean no negativos.

4. EL PROBLEMA DE TRANSBORDO

Hasta ahora hemos supuesto que el movimiento de mercancías se produce desde un origen hacia un destino. Sin embargo existen variaciones del modelo original donde se permite enviar mercancías en todas las direcciones. A los problemas de transporte de este estilo se le denomina problemas de transbordo o de transporte con nodos intermedios. En estos supuestos los nodos pueden ser de 3 tipos:

- Orígenes puros. Solo pueden enviar mercancías.
- Destinos puros. Solo pueden recibir mercancías.
- Nodos de transbordos. Pueden enviar y/o recibir mercancías.

Ahora tenemos una tabla de transporte con $m+n$ origen y $m+n$ destinos. A los almacenes originales les denotaremos con los subíndices $1,2,\dots,m$ y a los destinos originales los identificaremos con los subíndices $m+1,\dots,m+n$.

Como debemos respetar las restricciones de oferta y demanda nuestro modelo deberá de cumplir que:

- Los antiguos orígenes deben cumplir que la cantidad de mercancía que sale , menos la cantidad de mercancía que recibe este nodo debe ser igual a la oferta:

$$\sum_{\substack{k=1\\k\neq i}}^{m+n} x_{ik} - \sum_{\substack{k=1\\k\neq i}}^{m+n} x_{ki} = a_i, \forall i = 1,\dots m$$

- Para los antiguos destinos la cantidad de mercancía que llega menos la cantidad de mercancía que salga de él, debe ser igual a la demanda:

$$\sum_{\substack{k=1\\k\neq m+j}}^{m+n} x_{k,m+j} + \sum_{\substack{k=1\\k\neq m+j}}^{m+n} x_{m+j,k} = b_j, \forall j = 1,\dots,n$$

El modelo matemático que representa el problema es:

$$(P.Tb): Mín: z = \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{m+n} \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{m+n} c_{ij} x_{ij}$$

$$s.a: \quad \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{m+n} x_{ik} - \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{m+n} x_{ki} = a_i, \forall i = 1,\ldots,m$$

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq m+j}}^{m+n} x_{k,m+j} - \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq m+j}}^{m+n} x_{m+j,k} = b_j, \forall j = 1,\ldots,n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i = 1,\ldots,m+n \text{ y } \forall j = 1,\ldots,m+n$$

4.1. Solución al problema de transbordo

El problema de transbordo lo podemos resolver como un problema de transporte normal si supiéramos de antemano la cantidad de mercancía que pasan por cada nodo, pero nuestro estudio va destinado precisamente a esto, a saber cuáles son las cantidades que deben ser repartidas por cada nodo para minimizar el coste. Aunque no existe inconveniente en fijar una cota superior a cada una de las variables.

El procedimiento a seguir para resolver los problemas de transbordo es muy similar a la solución de un problema de transporte general. La distinción entre ambos consiste en incluir la demanda conjunta Θ a la demanda individual de cada nodo.

$$\theta = \sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$$

Para determinar los costes de transporte en cada una de las posibilidades procederemos a:

- Hacemos que todos los costos de la diagonal principal sean igual *0* ya que no existirán reparto entre un nodo y el mismo.
- Incrementaremos las ofertas de todos los orígenes en Θ unidades.
- Incrementaremos las demandas de todos los destinos en Θ unidades.
- Penalizamos con valor arbitrariamente grande, que denotaremos con la letra *M*, para aquellas rutas que sean imposibles.
- A la nueva tabla resultante le aplicaremos el algoritmo de transporte.

5. SUPUESTO PRÁCTICO

En este apartado vamos a plantear un problema de transporte inspirado en un escenario real, en el cual vamos a usar como referencia una empresa de helados y postres congelados. Nuestro supuesto va intentar dar respuesta a las necesidades de distribución que el Grupo Kalise Menorquina va a tener para el ejercicio 2017 para satisfacer demanda de helados en el territorio nacional.

Para la elaboración este caso hemos combinado información real, de la cual citaremos las fuentes, e hipótesis que iremos explicando a lo largo del desarrollo. El objeto de este supuesto es aproximar un problema de transporte teórico a un marco, lo más aproximado a un problema real, que se pueda presentar en una organización económica.

Para realizar este supuesto vamos a hacer un estudio de las posibles variables que influyen en dicho modelo. Intentaremos dar respuesta al problema de distribución a través de una estructura especial de programación lineal como son las estructuras de transporte. Para enriquecer nuestro problema vamos a plantearlo de modo que cada uno de los nodos pueda recibir y proporcionar mercancía indistintamente. Este tipo de problema, como hemos avanzado en la parte teórica, se denomina **Problema de transbordo**.

Finalizaremos analizando los resultados obtenidos e intentaremos mostrar cómo estas herramientas matemáticas pueden resultar de gran ayuda para el desarrollo empresarial, ya que permiten diseñar estructuras de distribución que puedan abastecer al mercado con la menor carga de costes posibles.

5.1. El grupo Kalise Menorquina

Ésta sociedad nace en 1999 como resultado de la fusión de dos empresas: Interglas S.A. (Kalise) con sede central en Las Palmas de Gran Canaria y helados Menorquina S.A. originaria de Menorca. La Menorquina fue fundada en el año 1940 en el pueblo menorquín de Aior por un pastelero local llamado Fernando Sintes. En 1944 La Menorquina se fusiona con Modernas Aplicaciones de Refrigeración Industrial S.A. ubicada en Barcelona y comienza su expansión por la península. Por otra parte, en 1960 en las Palmas de Gran Canaria se funda la empresa Interglas S.A. que empieza a comercializar postres helados en el ámbito local bajo la marca Kalise. Ya en 1999 la Menorquina e Interglas llevan a cabo una fusión completa dando origen al Grupo Kalise Menorquina (GKM). Durante estos años, encontramos Menorquina en Península y Baleares y Kalise en las Islas Canarias. En 2008, GKM lanza la marca Kalise para los helados destinados a la venta al público y Menorquina para los postres helados que se comercializan en restaurantes. La compañía vende al detalle y a granel, en restaurantes, con marca blanca o con su propia marca, a supermercados a gran distribución y directamente al consumidor.

Grupo Kalise menorquina (GKM) es un fabricante con capital 100% español cuya cuota de mercado se acerca al 20% del consumo nacional de postres congelados. GSK dispone de dos factorías, de las cuales una de ellas está ubicada en Las Palmas de Gran Canaria, y la otra en Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona). Este grupo, además, dispone de 21 delegaciones propias y su flota de camiones refrigerados consta de 113, además de dar empleo a cerca de 1.000 trabajadores. GKM no solo actúa en el mercado nacional, sino que también tiene presencia actualmente en 40 países, desde Europa hasta Asia. El GKM es el tercer fabricante y distribuidor de helados en España.

Grupo Kalise Menorquina

http://www.gkm.es/inicio

5.2. Oferta y demanda

Para iniciar nuestro planteamiento vamos a hacer una pequeña aproximación al mercado del helado Español, según Gema Boiza (21/9/2016) en su artículo *"España el tercer país del mundo que más dinero gasta en helados", extraído de la publicación online del Economista* <http://www.eleconomista.es/distribucion/noticias/7839954/09/16/Espana-el-tercer-pais-del-mundo-que-mas-dinero-gasta-en-helados.html> *hace referencia a lo siguiente:"España es uno de los mercados claves para la industria del helado al estar en el podio de los países que mas gastan y al ser el cuarto que más consume. De media cada español consume unos 10,67 litros de helado… y gasta 41,78€."*

Nuestro estudio va a tomar como referencia el mercado español y la previsión de demanda para el año 2017. Lo que hemos conseguido averiguar en torno al consumo de helado en España, gracias al boletín de Investigación del Constanza Business & Protocol School "El gasto en helados 2016" es que las CC.AA que más consumen son las más pobladas, que son Andalucía, Cataluña, la Comunidad de Madrid y la Valenciana. Las cifras de consumo de estas comunidades autónomas son de 87, 84, 76 y 62 millones de litros de helado en el pasado año, el resto de demandas podemos consultarlas en la siguiente tabla:

Cuadro 2:

PREVISIÓN DE GASTO Y CONSUMO DE HELADOS EN ESPAÑA

	2015	2016	2017	2018	2019	Variación 15 - 19
Andalucía	85	87	91	95	99	17,03%
Aragón	13	14	14	15	16	19,99%
Asturias	10	11	12	12	13	22,71%
Baleares	13	13	14	14	15	17,75%
Canarias	24	24	26	27	28	18,71%
Cantabria	6	6	6	7	7	19,24%
Castilla y León	25	26	27	28	29	19,16%
Castilla - La Mancha	20	21	22	22	23	14,76%
Cataluña	80	84	88	91	95	17,92%
C. Valenciana	59	62	65	68	70	18,50%
Extremadura	11	11	12	12	13	20,43%
Galicia	27	29	30	31	33	21,02%
Madrid	73	76	79	83	86	18,53%
Murcia	14	14	15	15	16	10,95%
Navarra	7	7	8	8	8	19,94%
País Vasco	24	25	26	27	28	19,20%
Rioja	3	3	4	4	4	27,30%
Ceuta	1	1	1	1	1	10,33%
Melilla	1	1	1	1	1	9,77%

Fuente: Boletín de Investigación de Constanza Business & Protocol School 8/2016

Nosotros vamos a servirnos de esta misma tabla para estimar la demanda para el año 2017 que será la referencia que usemos para la realización de nuestro modelo teórico.

- Orígenes

Ya hemos estimado la previsión de demanda para el año que vamos a estudiar, ahora necesitamos saber la demanda que va a satisfacer GKM. Para comenzar a detallar el escenario de nuestro supuesto vamos a hacer referencia a las 2 factorías de las que dispone el GKM. Estas serán el origen "puro" de los productos que comercialice la empresa para el mercado que estamos analizando.

Como hemos mencionado anteriormente el grupo tiene un centro de producción en el Polígono Industrial La Torre del Rector Calle Mar Mediterrània, 23 Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona y un segundo centro fuera de la península más concretamente en la calle Luis Correa Medina 11 de Las Palmas de Gran Canaria.

Para conocer un poco la capacidad de producción de ambas fabricas nos hemos servido de una entrevista que concedió Alex Balaguer, director general adjunto de GKM a Javier Rodríguez para la publicación online *Alimarket* https://www.alimarket.es/alimentacion/noticia/217183/alex-balaguer--kalise-menorquina----ahora-somos-una-compania-anti-negocio-no-rentable el 27 de Junio del 2.016, en ella nos habla de que el grupo produce más de 65 millones de litros de helado en condiciones normales entre ambas plantas. Dentro de este articulo el señor Alex Balaguer realiza la siguiente afirmación *"casi el 50% de lo que fabricábamos en Barcelona en litros era para marcas de distribuidor En 2012 fabricamos 20 Ml de helados para MDD y para enseñas de terceros."* De acuerdo con esta información podemos deducir que la fabricación en la planta de Barcelona podría estar en torno a los 40 millones de litros de helado, por lo tanto la producción de la factoría de Gran Canaria serian los 25 millones restantes.

Conocemos que el grupo Kalise Menorquina tiene una capacidad de producción de más de 65 millones de litros de helado con una facturación de cerca 150 millones de euros al año, de toda esta producción aproximadamente el 25% se destina al mercado internacional, por lo tanto suponemos que la producción que emplean para cubrir la demanda interna ronda los 50 millones de litros. Si extrapolamos esta cantidad a la demanda total que hemos estimado para el año 2017, que es de 541 millones de litros de helado para todo el mercado objetivo y establecemos la hipótesis de que el grupo vende toda su producción dedicada para la demanda interna, obtenemos una cuota de mercado del 9,2421%.

Cuadro 3:

CUOTA DE MERCADO ESPAÑOL DEL GKM EN KG.

Demanda total mercado español	Producción total GKM	% de cobertura de mercado
541.000.000	50.000.000	9,2421%

Fuente: Elaboración propia

Para hacer un reparto equitativo entre las 2 plantas hemos ponderado la demanda en función de la producción de cada planta asignando a la factoría de Barcelona una producción de 30,77 Millones de litros y para la fábrica de Las Palmas el resto, 19,23 Millones de litros.

Una consideración que debemos de tener en cuenta en este escenario que estamos planteando es la de cómo hacer llegar el producto desde la planta de Las Palmas hacia el resto del mercado que estamos analizando. Tener un centro de producción fuera de la península nos invita a pensar en una cadena de distribución más compleja en la que deberemos de tener en cuenta como llevar nuestros productos desde el archipiélago canario hacia sus destinos. Para nuestro supuesto vamos a considerar que esta distribución se realiza mediante transporte marítimo con origen en el Puerto de Las Palmas, este transporte se realizará por medio de contenedores frigoríficos que son enviados a tres puertos relevantes como son el puerto de Sevilla, Valencia y Vigo. La elección de estos tres puertos de destino corresponde a que por su gran volumen de operaciones tienen rutas más o menos frecuentes con nuestro puerto de origen. Esta distribución especial nos hará incurrir en unos costes especiales, como son los del propio transporte marítimo así como las condiciones especiales de la mercancía. Los helados deben ser transportados a temperatura concreta que encarece el transporte, de estas cuestiones hablaremos con mayor profundidad en el apartado de costes.

- Destinos

Para la elaboración de nuestro supuesto vamos a considerar que nuestros destinos son las capitales de cada CC.AA de España incluyendo en estos destinos las dos ciudades autónomas de Ceuta y Melilla. Tal vez sea una hipótesis algo simplista ya que no conocemos si GKM dispone de estructura logística en cada una de estas ciudades o si necesitaría diseñar un modelo de distribución más complejo para aquellas CC.AA que tenga mayor demanda, o que por circunstancias geografías se encuentren más distantes de los centros de producción. La elección de los puntos de destino obedece a dos causas principales que nos impiden ser mas realistas: la primera de ellas es la falta de información de la estructura logística del grupo y la segunda es que simplificando un poco los destinos tenemos un mejor acceso a la información de las distancias entre los orígenes y los destinos así como de estimación de la demanda de los mismos.

Para seguir avanzando en nuestro estudio debemos conocer la demanda de cada CC.AA que actuará como nodo en nuestro problema, ya en el cuadro 2 hemos reflejado la demanda total de helado para cada destino que vamos a usar en nuestro problema. Como también hemos calculado el porcentaje de demanda correspondiente para nuestra empresa analizada, vamos a pensar que en cada comunidad el GKM cubre dicho porcentaje que es del 9,2421%. Este reparto de mercado obedece a una falta de información de las cuotas de mercado que tiene cada marca comercial dentro de cada CC.AA pero a efectos de nuestro estudio no tiene mayor importancia más que una hipótesis simplificadora que nos ayude a establecer un marco teórico más sencillo.

Una equivalencia que nos servirá más adelante será la de transformar los litros de helado a kilogramos, esto nos permitirá unificar las medidas de peso y cantidad. Después de comprobar varios envases de helado hemos concluido que un litro de helado equivale a 600 gramos. Con estos datos podemos elaborar un cuadro de demanda y equivalencias que sirva como resumen de todo lo expuesto antes:

Cuadro 4:

CUOTA DE MERCADO DEL GKM POR CC.AA

CC.AA	demada global 2017	demanda GKM litros	demanda GKM Kg
Andalucía	91.000.000	8.410.351	5.046.211
Aragón	14.000.000	1.293.900	776.340
Asturias	12.000.000	1.109.057	665.434
Baleares	14.000.000	1.293.900	776.340
Canarias	26.000.000	2.402.957	1.441.774
Cantabria	6.000.000	554.529	332.717
Castilla y León	27.000.000	2.495.379	1.497.227
Castilla - La Mancha	22.000.000	2.033.272	1.219.963
Cataluña	88.000.000	8.133.087	4.879.852
C. Valenciana	65.000.000	6.007.394	3.604.436
Extremadura	12.000.000	1.109.057	665.434
Galicia	30.000.000	2.772.643	1.663.586
Madrid	79.000.000	7.301.294	4.380.776
Murcia	15.000.000	1.386.322	831.793
Navarra	8.000.000	739.372	443.623
País Vasco	26.000.000	2.402.957	1.441.774
La Rioja	4.000.000	369.686	221.811
Ceuta	1.000.000	92.421	55.453
Melilla	1.000.000	92.421	55.453
TOTAL	541.000.000	50.000.000	30.000.000

Fuente: Elaboración propia

Como hemos reflejado en la introducción del caso vamos a plantear nuestro supuesto como un problema de transbordo, donde cada capital autonómica actúe tanto de origen como de destino. Para conocer las distancias entre dos nodos hemos realizado un cuadro donde indicamos los kilómetros que hay entre las ciudades si hiciéramos el trayecto por carretera. Este cálculo lo hemos realizado a través de la herramienta Google Maps (https://www.google.es/maps). Si es cierto que existen 4 destinos que tiene una parte de su trayecto que hay que realizar por mar, serían los puntos de Gran Canaria, Palma de Mallorca y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

- Para Gran Canaria, como hemos mencionado anteriormente, los trayectos de mercancía los haremos bajo unas condiciones especiales ya que las salidas y entradas de producto se realizaran a los 3 puertos que hemos deducido como destinos más viables. Estas rutas se cubrirán exclusivamente con cargueros que transportaran los contenedores refrigerados con los helados. Para el cálculo de estos trayectos hemos simplificado, entendiendo que en los costes que usaremos se incluyen los desplazamientos hasta la ciudad origen-destino de nuestro supuesto.

- De una manera similar actuamos para Palma de Mallorca, en este caso usaremos como puertos de enlace los de Barcelona y Valencia. Usaremos estos puertos ya que por cercanía geográfica los consideramos las rutas más probables. Los transportes los realizaremos con camión que embarcaremos en ferris que unen la península con el archipiélago Balear. Los ferris son naves de grandes dimensiones que permiten el embarque de vehículos, mercancías y personas, suelen realizar trayectos de ida y vuelta entre dos puertos.

- Para el caso de Ceuta y Melilla vamos a usar otro criterio. Para estos nodos usaremos la distancia por carretera desde cada punto de la península hasta el Puerto de Algeciras (Andalucía). Una vez allí salvaremos el estrecho con un ferry con destino a Ceuta y uniremos la ciudad de Ceuta con Melilla por carretera.

En este apartado únicamente hablamos de cómo conectamos cada ciudad contemplada en nuestro trabajo, más adelante, en el apartado de costes, profundizaremos más en que costes incurriremos dependiendo de que tipo de transporte usemos.

En la siguiente figura representamos en un cuadro de distancias, los kilómetros que separan a cada ciudad, en este cuadro en la primera columna aparecen los orígenes y la primera fila indican los destinos. Tanto los orígenes como los destinos son las capitales de provincia de cada CC.AA, en cada casilla indicamos las distancias en kilómetros que existen entre las capitales de las diferentes comunidades. Como hemos indicado anteriormente estas distancias están calculadas para trayectos por carretera, por ejemplo la distancia que separa a Sevilla de Zaragoza viene expresada por la posición D_{12} que sería de 847km si hiciéramos el recorrido por carretera. Los nodos que tienen trayectos marítimos las distancias están expresadas también en kilómetros por carretera aunque, evidentemente, las parte de recorrido por mar se harán en barco. Todas las distancias las expresamos en el cuadro 5 que adjuntamos a continuación:

Cuadro 5:

CUOTA DE MERCADO DEL GKM POR CC.AA

	Sevilla	Zaragoza	Oviedo	Mallorca	Las Palmas	Santander	Valladolid	Toledo	Barcelona	Valencia	Mérida	Santiago	Madrid	Murcia	Pamplona	Vitoria	Logroño	Ceuta	Melilla
Sevilla		847	779	979	1410	830	586	496	998	654	194	809	532	523	915	822	838	226	477
Zaragoza	847		589	533	2242	401	420	382	299	308	652	783	314	553	178	260	170	1012	973
Oviedo	779	589		1137	2176	194	256	514	901	804	587	307	446	850	437	343	424	1000	1110
Mallorca	979	553	1137		2388	948	968	693	246	320	919	1331	679	469	725	807	718	1034	969
Las Palmas	1410	2242	2176	2388		2226	1982	1892	2409	2064	1590	2198	1928	1936	2311	2218	2234	1630	1890
Santander	830	401	194	948	2226		247	522	712	709	637	471	455	814	254	161	235	1051	1119
Valladolid	586	420	256	968	1982	247		256	732	547	393	449	189	593	332	239	255	807	853
Toledo	496	382	514	693	1892	522	256		678	371	303	669	73	392	459	428	397	651	613
Barcelona	998	299	901	246	2409	712	732	678		351	962	1090	624	594	485	567	477	1171	1095
Valencia	654	308	804	320	2064	709	547	371	351		596	960	355	235	487	569	479	799	735
Mérida	194	652	587	919	1590	637	393	303	962	596		698	339	606	722	629	645	414	674
Santiago	809	783	307	1331	2198	471	449	669	1090	960	698		600	1003	695	602	618	1027	1263
Madrid	532	314	446	679	1928	455	189	73	624	355	339	600		399	389	356	327	703	665
Murcia	523	553	850	469	1936	814	593	392	594	235	606	1003	399		725	742	693	576	509
Pamplona	915	178	437	725	2311	254	332	459	485	487	722	695	389	725		99	85	1090	1051
Vitoria	822	260	343	807	2218	161	239	429	567	569	629	602	356	742	99		94	1043	1016
Logroño	838	170	424	718	2234	235	255	397	477	479	645	618	327	693	85	94		1058	989
Ceuta	226	1012	1000	1034	1630	1051	807	651	1171	799	414	1027	703	576	1090	1043	1058		385
Melilla	477	973	1110	969	1890	1119	853	613	1095	735	674	1263	665	509	1051	1016	989	385	

Fuente: Elaboración propia

5.3 Costes

Para poder resolver nuestro problema necesitamos conocer los costos que influyen en el reparto de mercancías, una vez que hayamos recopilado esa información nuestro siguiente paso es construir con ella una matriz de costos siguiendo la estructura propuesta en el cuadro 1 de este trabajo.

Para analizar los costes que se generan en la distribución que estimamos que el GKM debe realizar, tenemos que tener en cuenta no sólo los costes que se derivan del transporte por carretera de los productos, sino también los gastos del transporte marítimo en aquellos orígenes o destinos en los que sea necesario hacer llegar la mercancía a través o bien de contenedores o bien de ferris por el mar. En este supuesto no hemos tenido en cuenta otros costes derivados de la distribución como pueden ser costes de almacenaje que pudieran surgir en puntos intermedios de la ruta u otros costes derivados del transporte.

- Costes de transporte mercancías por carretera

Para conocer los costes derivados del transporte de mercancías por carretera nos vamos a servir, para el análisis de los costes del transporte a través de camiones frigoríficos, del dossier "*Observatorio de costes de transporte de mercancías por carretera*" elaborado por el Ministerio de Fomento del Gobierno de España que fue redactado en Enero de 2017, este documento se puede consultar en la siguiente dirección Web:

https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/SERVICIOS_TRANSPORTISTA/OBSERVATORIO_COSTES/observatorios.htm

Este informe hace un exhaustivo análisis del mercado del transporte de mercancías en el territorio nacional atendiendo a criterios puramente objetivos que nos permiten obtener una radiografía muy exacta, a nuestro parecer, del sector de transportes de mercancías por carretera.

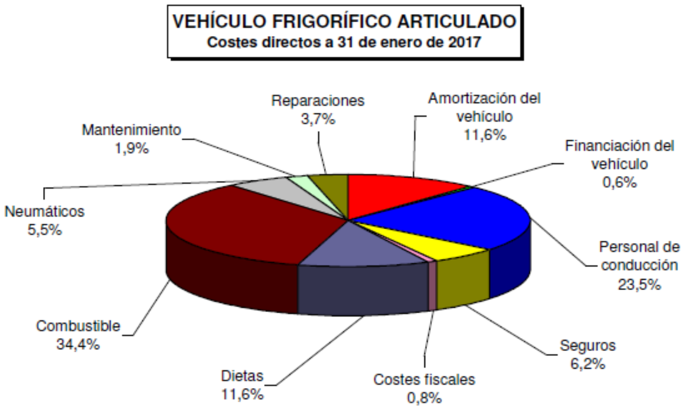
Para nuestro trabajo vamos a detenernos especialmente en el punto 2.4 y 2.5 de este dossier, en ellos aparecen detallados los costes directos de 2 tipos de vehículos que usaremos para la elaboración de nuestro supuesto que son el camión frigorífico articulado y el camión frigorífico de 2 ejes.

  - Vehículo frigorífico articulado.

Este primer tipo de transporte que vamos a considerar analiza los camiones de 5 ejes, que tienen de media, una carga útil de 24.000 Kg. y recorren al año unos 120.000 Km. Este es un tipo de vehículo que tiene la posibilidad técnica de transportar mercancías congeladas, consideramos que serán un posible transporte para la mercancía que el GKM comercializa. Tras el análisis de las variables que influyen en los costes directos de este tipo de camiones, el informe nos proporciona unos costes directos unitarios por Km. recorrido de 1,125€. Como podemos observar en la Figura 1 del informe, la mayor parte de los costes corresponden a gastos en combustible. Otra gran parte sería el gasto asociado al personal de conducción y las otras dos partidas de mayor importancia serían las dietas y la amortización del vehículo. Este reparto de costes son los que sirven para el cálculo de la cantidad de 1,125€ el kilómetro que será la cifra que usemos para calcular los costes del trasporte por carretera en nuestro supuesto. A continuación incluimos la figura representativa del reparto total de costes directos para el medio de transporte analizado:

Figura 1

Reparto costes directos para un camión frigorífico articulado



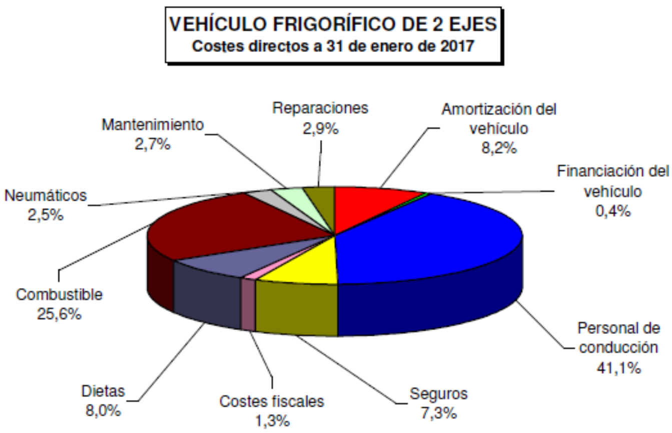
Fuente: observatorio de costes Ministerio de España

– Vehículo frigorífico de dos ejes

Este es un tipo de vehículo compuesto de dos ejes cuya carga útil de producto sería de aproximadamente 9.000 Kg; son vehículos que de media recorren unos 70.000 Km. Los costes directos reflejados en el informe, en este caso nos dan una media de 1,104€ por Km. recorrido. En el reparto de cargas en las que incurren estos vehículos el coste más importante corresponde al personal de conducción, que en el primer vehículo analizado era el segundo gasto más importante. El gasto en combustible sería el segundo desembolso, mientras que en vehículo articulado era el primero. A continuación expondremos mediante un diagrama circular el reparto de costes del vehículo analizado:

Figura 2

Reparto costes directos para un camión frigorífico 2 ejes



Fuente: observatorio de costes Ministerio de España

- Costes transportes marítimos

A continuación vamos a exponer con más detalle los costes que tendremos en cuenta en nuestro caso para aquellos trayectos que se realicen por medios marítimos. Para el cálculo de estos costes hemos tenido en cuenta los costes de flete, carga y descarga tanto en origen como en destino para el traslado de la mercancía en contenedores. En el caso de los ferris únicamente el coste del trayecto obviando los costes del conductor o del camión para la conexión con Palma de Mallorca, en el caso de Ceuta y Melilla si hemos introducido coste para el trayecto hasta el puerto de Algeciras.

– Contenedores frigoríficos

En este apartado vamos a mencionar los costes en los que incurriremos al diseñar nuestra estructura de transportes al trasladar mercancía desde el archipiélago canario hacia tres puntos de la geografía española. Estos movimientos de mercancía nos harán incurrir en la generación de unos costes de flete, ya que los transportes se realizarán a través de barcos contenedores.

Los postres refrigerados tienen que ser trasladados en contenedores especiales, que reciben el nombre de “reefer”, están equipados con un motor autónomo y material aislante que permiten que la mercancía pueda viajar en un rango de temperatura de entre -25ºC hasta +25ºC con una variación de +/-2ºC.

Existen varios tipos de contenedores “reefer”, los dos más habituales son el “reefer 20´RF” y los “reefer 40´RF” con una capacidad de 28 y 59 m^3 respectivamente, cuya equivalencia en peso es de 20.000 y 24.000Kg aproximadamente.

Para obtener el coste de transporte marítimo en nuestro ejercicio hemos usado una herramienta Web que calcula la tarifa para envíos marítimos de carga, denominada iCONTAINERS (http://www.icontainers.com/es/). Se trata de una plataforma online que permite conocer el coste de envío de contenedores de carga entre diferentes orígenes y destinos. La compañía ofrece cotizaciones y reservas online y en tiempo real para mudanzas internacionales y envíos marítimos y aéreos con más de 150.000 tarifas y rutas disponibles. Cuenta con un servicio de recogida de mercancías y se encarga de tramitar el despacho de aduanas y de proveer al cliente de un seguro de transporte.

Para nuestro estudio hemos analizado 3 rutas posibles que realizarán las mercancías. Estas rutas son las más frecuentes que se realizan entre el archipiélago canario y la península, ya que tienen una mayor frecuencia en el tiempo y los puertos tienen una estructura capaz de recepcionar este tipo de barcos contenedores.

A través de esta herramienta hemos calculado los siguientes costes, incluyendo en ellos los gastos de flete marítimo y los gastos asociados a la carga y descarga de la mercancía tanto en el puerto de origen como en el puerto de destino. Expondremos a continuación, en el cuadro de abajo dichos costes:

Cuadro 6:

COSTE TRANSPORTE CONTENEDORES

	Contendor 20´	Contendor 40´
Las Palmas-Vigo	1.795€	2.090€
Las Palmas- Valencia	1.795€	2.095€
Las Palmas- Sevilla	1.813€	2.143€

Fuente: Elaborado con datos extraídos de iContainers.com

– Ferry

Para el transporte en ferry hemos usado varias páginas Web que comparan precios para los trayectos en ferry algunas de ellas son:

- https://www.aferry.es
- http://www.directferries.es
- https://www.balearia.com/es
- https://www.trasmediterranea.es/es
- http://www.frs.es/es/

Tras analizar los precios configurando diferentes días y horarios de viaje hemos llegado a la siguiente conclusión:

Para el transporte a Palma de Mallorca hemos seleccionado 2 puntos de partida como son los puertos de Barcelona y Valencia. En el primero de ellos operan 2 navieras: Balearia y Transmediterránea; ambas disponen de viajes casi diarios y con una multitud de horarios. Hemos configurado 2 tipos de vehículos, uno correspondería con las características técnicas de un camión articulado y el segundo para un vehiculo de 2 ejes.

Los costes para el camión grande desde Barcelona como media serian de 1.486€ el trayecto de ida y vuelta con el camión cargado en la ida y descargado en la vuelta, el precio para el camión pequeño seria de 557€ también con un trayecto con carga y la vuelta sin ella. Para nuestro ejercicio hemos usado la mitad de este coste ya que nosotros solo vamos a tener en cuenta trayectos de ida. Somos conscientes de que este coste no se ajusta plenamente a la realidad pero nos servirá para simplificar nuestro trabajo. Por lo tanto vamos a contabilizar en nuestra matriz de coste un valor de 743€, para el camión grande, y 279€ para el vehículo de 2 ejes.

Desde el puerto de Valencia, para este tipo de trayectos solo opera una naviera que es Transmediterránea que nos da un coste por trayecto para el camión articulado de 1.445€ y de 542€ para el transporte de 2 ejes. Usaremos para nuestro ejemplo, siguiendo el criterio anterior, la mitad de estos costes. Para el camión grande usaremos un coste de 723€ y para el pequeño 271€ por trayecto.

Para la ruta entre Algeciras y Ceuta operan tres navieras que son Balearia, Transmediterránea y FRS si configuramos un viaje tipo para el vehículo grande obtenemos un precio aproximado de 539€ para el trayecto de ida y vuelta y de 232€ para el transporte de 2 ejes. Para unificar criterios solo tendremos en cuenta la mitad de estos costes, es decir, 270€ y 116€ para cada uno de los transportes.

5.4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Hasta ahora hemos analizado las variables que vamos a tener en cuenta para construir nuestro modelo. Vamos a intentar condensar toda esta información en un cuadro donde reflejemos los costes con la misma estructura del cuadro 1. Para el cálculo de cada coste hemos tenido en cuenta las características propias de cada trayecto. Como hemos ido adelantando en el desarrollo, el costo que hemos reflejado en cada casilla corresponde al viaje de ida que realiza un camión. En este caso hemos decidido que el trayecto sea realizado por el vehículo de mayor capacidad (24.000 Kg.) y también hemos calculado los costes relativos al uso del contenedor reefer 40´RF que también tiene una capacidad aproximada de 24.000 kilos de producto. Cada casilla contendrá el coste resultante de realizar cada trayecto entre un nodo y otro

Para iniciar los cálculos hemos construido una tabla (cuadro 7) dónde reflejamos la equivalencia de litros de helado a kilogramos, equivalencia que hemos mencionado anteriormente (1l=0,6kg.), con esta equivalencia hemos unificado la demanda que la teníamos expresa en litros con la capacidad de carga de cada uno de los medios de transporte que vamos a usar.

Por otro lado hemos calculado los viajes necesarios que habría que hacer para cubrir la demanda de cada destino, para ello hemos dividido la cantidad de demanda en kilogramos entre la capacidad de cada transporte. Hemos interpretado que realizaremos tantos trayectos como sean necesarios para cubrir totalmente la demanda en cada punto, esto lo hemos establecido con un redondeo hacia la unidad siguiente.

En este supuesto no hemos establecido ninguna restricción de oferta, a efectos prácticos lo interpretaremos como que el grupo tiene infraestructura suficiente como para abastecer completamente a su cuota de mercado. Por lo tanto como el total de trayectos son 1.261, el grupo realizara esos trayectos. Para repartir esta oferta entre los 2 centros de producción vamos a usar el criterio de ponderar los trayectos en función de la producción de cada factoría, calculamos el porcentaje con una simple regla de 3 y otorgamos a cada origen esa oferta:

$$Oferta\ F_i = \frac{Producción\ F_1}{Producción\ F_i} \times total\ de\ trayectos$$

Resolvemos:

$$Oferta\ F_B = \frac{30{,}77\ Millones\ de\ litros}{50\ Millones\ de\ litros} \times 1261 \approx 776$$

$$Oferta\ F_{LP} = \frac{19{,}23\ Millones\ de\ litros}{50\ Millones\ de\ litros} \times 1261 \approx 485$$

Cuadro 7:

DEMANDA GKM Y TRAYECTOS ESTIMADOS (Camiones 24.000 kg.)

CC.AA	demada global 2017	demanda GKM litros	demanda GKM Kg	trayectos necesrios	redondeo
Andalucía	91.000.000	8.410.351	5.046.211	210,26	211
Aragón	14.000.000	1.293.900	776.340	32,35	33
Asturias	12.000.000	1.109.057	665.434	27,73	28
Baleares	14.000.000	1.293.900	776.340	32,35	33
Canarias	26.000.000	2.402.957	1.441.774	60,07	61
Cantabria	6.000.000	554.529	332.717	13,86	14
Castilla y León	27.000.000	2.495.379	1.497.227	62,38	63
Castilla - La Mancha	22.000.000	2.033.272	1.219.963	50,83	51
Cataluña	88.000.000	8.133.087	4.879.852	203,33	204
C. Valenciana	65.000.000	6.007.394	3.604.436	150,18	151
Extremadura	12.000.000	1.109.057	665.434	27,73	28
Galicia	30.000.000	2.772.643	1.663.586	69,32	70
Madrid	79.000.000	7.301.294	4.380.776	182,53	183
Murcia	15.000.000	1.386.322	831.793	34,66	35
Navarra	8.000.000	739.372	443.623	18,48	19
País Vasco	26.000.000	2.402.957	1.441.774	60,07	61
La Rioja	4.000.000	369.686	221.811	9,24	10
Ceuta	1.000.000	92.421	55.453	2,31	3
Melilla	1.000.000	92.421	55.453	2,31	3
TOTAL	541.000.000	50.000.000	30.000.000	1.250,00	1.261,00

MATRIZ DE COSTE PARA EL SUPESTO GKM DE LOS TRAYECTOS DE IDA PARA SU DEMANDA EN 2017

	Sevilla	Zaragoza	Oviedo	Mallorca	Las Palmas	Santander	Valladolid	Toledo	Barcelona	Valencia	Mérida	Santiago	Madrid	Murcia	Pamplona	Vitoria	Logroño	Ceuta	Melilla	OFERTA
Sevilla	0	953	780	M	2090	934	659	558	1123	736	218	910	599	588	1029	925	943	478	607	0
Zaragoza	953	0	663	M	M	451	473	430	336	347	734	881	353	622	200	293	191	1362	1319	0
Oviedo	876	663	0	M	M	218	288	578	1014	905	660	345	502	956	492	386	477	1349	1319	0
Mallorca	M	M	M	0	M	M	M	M	743	723	M	M	M	M	M	M	M	M	M	0
Las Palmas	2090	M	M	M	0	M	M	M	M	2095	M	2143	M	M	M	M	M	M	M	485
Santander	934	451	218	M	M	0	278	587	801	798	717	530	512	916	286	181	264	1406	1329	0
Valladolid	659	473	288	M	M	278	0	288	824	615	442	505	213	667	374	269	287	1132	1030	0
Toledo	558	430	578	M	M	587	288	0	763	417	341	753	82	441	516	482	447	956	760	0
Barcelona	1123	336	1014	743	M	801	824	763	0	395	1082	1226	702	668	546	638	537	1541	1302	776
Valencia	736	347	905	723	2095	798	615	417	395	0	671	1080	399	264	548	640	539	1123	897	0
Mérida	218	734	660	M	M	717	442	341	1082	671	0	785	381	682	812	708	726	690	828	0
Santiago	910	881	345	M	2143	530	505	753	1226	1080	785	0	675	1128	782	677	695	1379	1491	0
Madrid	599	353	502	M	M	512	213	82	702	399	381	675	0	449	438	401	368	1015	818	0
Murcia	588	622	956	M	M	916	667	441	668	264	682	1128	449	0	816	835	780	872	643	0
Pamplona	1029	200	492	M	M	286	374	516	546	548	812	782	438	816	0	111	96	1450	1252	0
Vitoria	925	293	386	M	M	181	269	483	638	640	708	677	401	835	111	0	106	1397	1213	0
Logroño	943	191	477	M	M	264	287	447	537	539	726	695	368	780	96	106	0	1414	1183	0
Ceuta	478	1362	1349	M	M	1406	1132	956	1541	1123	690	1379	1015	872	1450	1397	1414	0	433	0
Melilla	761	1319	1473	M	M	1483	1184	914	1456	1051	982	1645	972	797	1406	1367	1337	433	0	0
DEMANDA	211	33	28	33	61	14	63	51	204	151	28	70	183	35	19	61	10	3	3	

5.5. SOLUCIÓN DEL SUPUESTO

Ya tenemos definidos todos los elementos de nuestro caso, disponemos de una función objetivo a minimizar sujeta a una serie de restricciones y hemos construido una matriz de costes. Este problema lo vamos a resolver, como hemos mencionado anteriormente, como un problema de transbordo.

I Paso.

En primer lugar debemos comprobar que el problema este balanceado es decir que el sumatorio de la oferta y el sumatorio de la demanda tengan el mismo valor:

$$\sum_{i=Of_i}^{m} Of_i = \sum_{j=D_i}^{n} D_i = 1.261 \text{ Trayectos}$$

En nuestro caso coinciden ambos valores, por lo tanto el problema esta balanceado, de no ser así habría que generar orígenes o destinos ficticios siguiendo el criterio que hemos explicado en el apartado 3.1 de este trabajo.

II Paso.

Como hemos planteado nuestro ejemplo como un problema con trasbordo debemos incrementar las ofertas de todos nuestros orígenes en Θ unidades y del mismo modo incrementar las demandas de todos los destinos en Θ unidades, el valor de nuestra Θ será el sumatorio de todas las demandas:

$$\theta = \sum_{j=Di}^{n} D_i = 1.261 \text{ Trayectos}$$

III Paso.

Procederemos a obtener una solución factible básica inicial, nosotros hemos decidido usar el método de aproximación de Vogel ya que es capaz de alcanzar una solución básica inicial más próxima al óptimo.

IV Paso.

Para realizar el tercer y cuarto paso vamos a servirnos de una herramienta informática que nos permite resolver este tipo de problemas sin la necesidad de elaborar multitud de cálculos a mano. Existen varios software que permiten resolver problemas de programación lineal como son MSS, STROM, TORA e incluso Solver de Excel, nosotros vamos a usar **WinQSB** (hemos usado la versión de Chang Yih-Long 2003).

En primer lugar debemos elegir el modulo del programa que deseamos usar, en nuestro caso el de modelación de redes. Una vez iniciado el programa nos aparecerá un cuadro con celdas donde introduciremos nuestra matriz de costos junto a los valores de las ofertas y las demandas.

Posteriormente usaremos los menús superiores del programa, para en primer lugar, elegir el método para calcular la solución inicial, en nuestro caso Vogel, para después en el mismo menú elegir la opción resolver el problema.

WinQSB nos generara una tabla de resultados como la que incluimos a continuación. Esta tabla presenta la solución al problema de transbordo que hemos planteado:

Cuadro 9:

SOLUCIONES PARA EL SUPUESTO DEL GKM (Camiones 24.000 kg. Capacidad)

Solution for Kalise: Minimization (Network Flow Problem)

07-10-2017	From	To	Flow	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	Sevilla	Merida	28	218	6104	0
2	Sevilla	Ceuta	3	478	1434	0
3	Sevilla	Melilla	3	607	1821	0
4	Zaragoza	Santander	14	451	6314	0
5	Zaragoza	Valladolid	63	473	29799	0
6	Zaragoza	Madrid	234	353	82602	0
7	Zaragoza	Pamplona	19	200	3800	0
8	Zaragoza	Vitoria	61	293	17873	0
9	Zaragoza	Logroño	10	191	1910	0
10	Las Palmas	Sevilla	245	2090	512050	0
11	Las Palmas	Valencia	81	2095	169695	0
12	Las Palmas	Santiago	98	2143	210014	0
13	Barcelona	Zaragoza	434	336	145824	0
14	Barcelona	Mallorca	33	743	24519	0
15	Barcelona	Valencia	105	395	41475	0
16	Valencia	Murcia	35	264	9240	0
17	Santiago	Oviedo	28	345	9660	0
18	Madrid	Toledo	51	52	2652	0
	Total	Objective	Function	Value =	1276786	

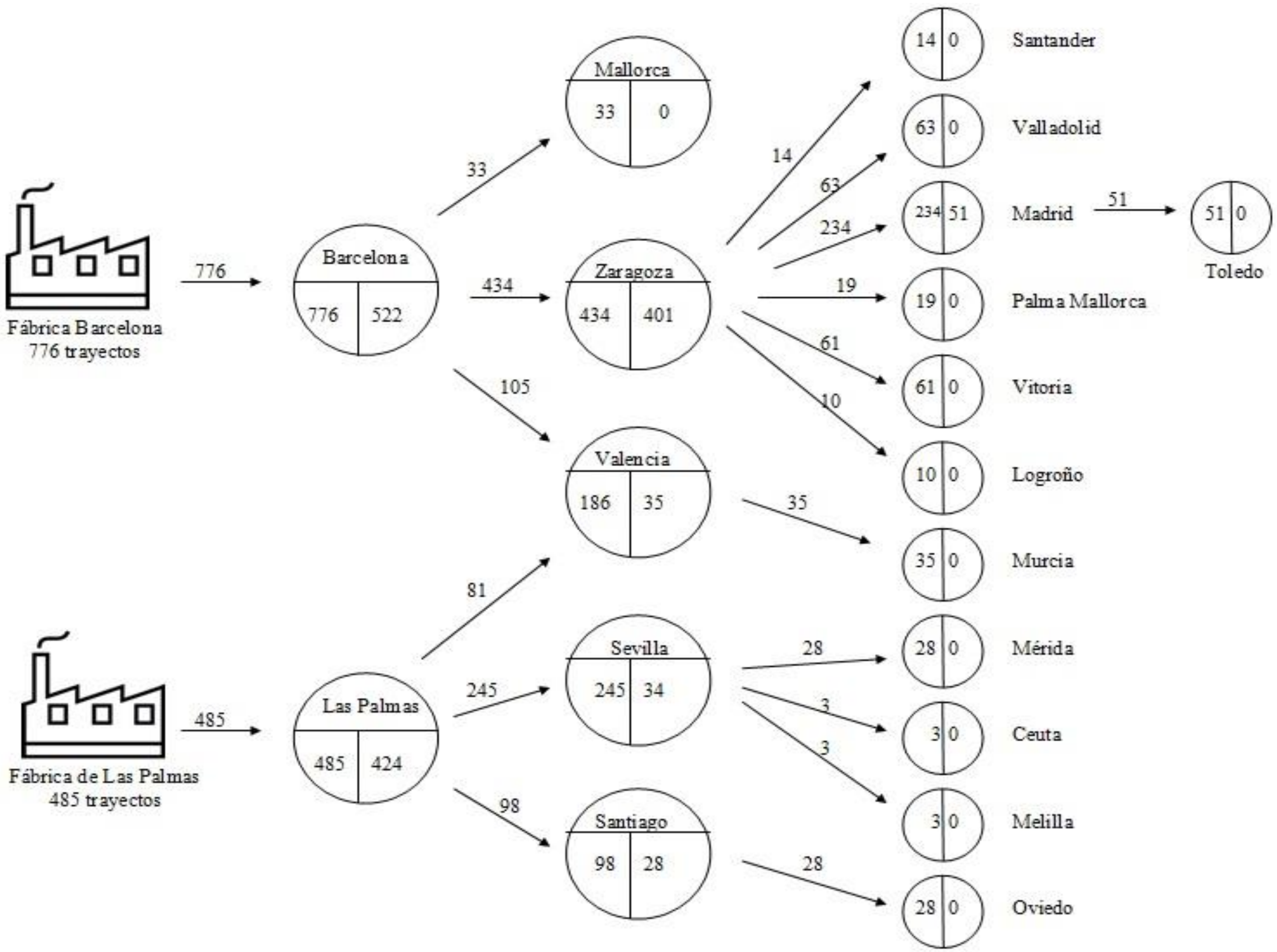
La columna “from” hace referencia a los orígenes en ella podemos apreciar que existen 7 de los cuales dos son orígenes puros (Barcelona y Las Palmas) ya que sólo parten mercancía desde ellos. En la columna “to” aparecen todos los destinos a los cuales tenemos que llevar mercancía. En la siguiente columna “flow” el programa indica cuantos camiones grandes debemos enviar hacia cada uno de los trayectos, con los orígenes y destinos a los que se hace referencia en cada fila. Por ejemplo la primera posición nos indica que debemos realizar 28 trayectos con el vehículo de 24.000 kilos entre Sevilla y Mérida y cada trayecto tiene un coste de 218€ (Columna “unit cost”) y que el coste total del transporte de este envío es de 6.104€.

Con estos resultados podemos establecer que nuestra estructura de transporte tendrá 2 orígenes puros que son Barcelona y Las Palmas. Barcelona distribuiría exclusivamente a Zaragoza, Mallorca y Valencia. Las Palmas haría llegar su producción a los 3 puertos que habíamos configurado al principio, que son Sevilla, Valencia y Santiago de Compostela. Sevilla a su vez serviría como nodo intermedio para hacer llegar los helados a Mérida, Ceuta y Melilla. Zaragoza distribuiría a gran parte de la zona norte: Santander, Valladolid, Madrid, Pamplona, Vitoria y Logroño. Valencia actuará como enlace con Murcia, al igual que Santiago de Compostela con Oviedo y Madrid lo hará con Toledo.

El coste total de distribuir los 30 millones de kilos de helados usando un transporte de 24.000 kilos de carga tanto en forma de camión o a través de contenedores de la misma capacidad es de 1.276.786€. Esta estructura que hemos diseñado distribuye toda la demanda que hemos supuesto para el GKM en el año 2017. Estos costes solo reflejan los costes de los trayectos de ida que hacemos con cada medio de transporte, en el coste no reflejamos los costes de almacenaje u otros costes que se pudieran derivar de la distribución.

Figura 3:

GRAFO SUPUESTO GKM (camiones 24.000Kg. capacidad)



5.6. MODIFICACIÓN DEL SUPUESTO ORIGINAL

En este apartado vamos a introducir una modificación en una variable de nuestro supuesto para comparar los resultados en ambos casos. Para ello vamos a cambiar los transportes por carretera, en vez de usar camiones con una capacidad de 24.000 kg. vamos a usar camiones de 9.000kg. Y compararemos si la estructura de transporte cambia y si los costes totales sufren un incremento o un decrecimiento.

En primer lugar debemos generar una nueva matriz de costos donde modificaremos el coste por kilómetro por trayecto que pasara de 1,125€ a 1,104€ por kilómetro. Al modificar la capacidad de los camiones nuestras ofertas y demandas se ven alteradas ya que a pesar de tener la misma demanda de cantidad de helado nosotros hemos expresado las ofertas y las demandas en función de los trayectos necesarios para cubrir la demanda anual del GKM.

Podemos anticipar como es lógico que se incrementan las necesidades de trayectos salvo en Las Palmas ya que esta distribución vamos a seguir haciéndola con los contenedores de 40´ que tienen una capacidad de 24.000kg. Esto nos obliga a igualar cantidades ya que Las Palmas no tendría los trayectos equilibrados para ello vamos a actuar de la siguiente forma, vamos a usar trayectos de 9.000kg pero ponderando costes. Es decir calcularemos los trayectos para 9.000 kilogramos pero el coste será ajustado en cada trayecto

$$c_{LP-VI} = \frac{9.000\,kg \times 2.090\,€}{24.000\,kg} \approx 784\,€\,/\,trayecto$$

Este seria el coste para el trayecto entre el puerto de Las Palmas y Vigo. Usaremos el mismo criterio para calcular los costos con Sevilla y Valencia, lo que nos darían unos costes de 804€ y 786€ respectivamente. A continuación incluimos un cuadro con el cálculo de los trayectos necesarios para el vehículo de 9.000 kg.

Cuadro 10:
DEMANDA GKM Y TRAYECTOS ESTIMADOS (Camiones 9.000 kg.)

CC.AA	demada global 2017	demanda GKM litros	demanda GKM Kg	trayectos necesrios	redondeo
Andalucía	91.000.000	8.410.351	5.046.211	560,69	561
Aragón	14.000.000	1.293.900	776.340	86,26	87
Asturias	12.000.000	1.109.057	665.434	73,94	74
Baleares	14.000.000	1.293.900	776.340	86,26	87
Canarias	26.000.000	2.402.957	1.441.774	160,20	161
Cantabria	6.000.000	554.529	332.717	36,97	37
Castilla y León	27.000.000	2.495.379	1.497.227	166,36	167
Castilla - La Mancha	22.000.000	2.033.272	1.219.963	135,55	136
Cataluña	88.000.000	8.133.087	4.879.852	542,21	543
C. Valenciana	65.000.000	6.007.394	3.604.436	400,49	401
Extremadura	12.000.000	1.109.057	665.434	73,94	74
Galicia	30.000.000	2.772.643	1.663.586	184,84	185
Madrid	79.000.000	7.301.294	4.380.776	486,75	487
Murcia	15.000.000	1.386.322	831.793	92,42	93
Navarra	8.000.000	739.372	443.623	49,29	50
País Vasco	26.000.000	2.402.957	1.441.774	160,20	161
La Rioja	4.000.000	369.686	221.811	24,65	25
Ceuta	1.000.000	92.421	55.453	6,16	7
Melilla	1.000.000	92.421	55.453	6,16	7
TOTAL	541.000.000	50.000.000	30.000.000	3.333,33	3.343,00

Seguidamente calculamos la oferta de cada planta para ello seguimos el mismo criterio que en el ejemplo anterior pero modificando la cantidad total de demanda:

$$Oferta\ F_i = \frac{Producción\ F_1}{Producción\ F_i} \times total\ de\ trayectos$$

Como ahora el total de trayectos son 3.343 usaremos como ofertas 2.057 trayectos para la fábrica de Barcelona y 1.286 trayectos para la ubicada en Las Palmas. Con estos datos pasamos a construir la nueva matriz de costos:

Cuadro 11:

MATRIZ DE COSTE PA RA EL SUPESTO GKM DE LOS TRAYECTOS DE IDA PARA SU DEMANDA EN 2017

	Sevilla	Zaragoza	Oviedo	Mallorca	Las Palmas	Santander	Valladolid	Toledo	Barcelona	Valencia	Mérida	Santiago	Madrid	Murcia	Pamplona	Vitoria	Logroño	Ceuta	Melilla	OFERTA
Sevilla	0	935	780	M	2090	916	647	548	1102	722	214	893	587	577	1010	907	925	320	597	0
Zaragoza	935	0	650	M	M	443	464	422	330	340	720	864	347	611	197	287	188	1188	1145	0
Oviedo	860	650	0	M	M	214	283	567	995	888	648	339	492	938	482	379	468	1175	1296	0
Mallorca	M	M	M	0	M	M	M	M	279	271	M	M	M	M	M	M	M	M	M	0
Las Palmas	804	M	M	M	0	M	M	M	M	786	M	784	M	M	M	M	M	M	M	1.286
Santander	916	443	214	M	M	0	273	576	786	783	703	520	502	899	280	178	259	1231	1306	0
Valladolid	647	464	283	M	M	273	0	283	808	604	434	496	209	655	367	264	282	962	1012	0
Toledo	548	422	567	M	M	576	283	0	749	410	335	739	81	433	507	473	438	789	747	0
Barcelona	1102	330	995	279	M	786	808	749	0	388	1062	1203	689	656	535	626	527	1364	1280	2.057
Valencia	722	340	888	271	2095	783	604	410	388	0	658	1060	392	259	538	628	529	953	882	0
Mérida	214	720	648	M	M	703	434	335	1062	658	0	771	374	669	797	694	712	528	815	0
Santiago	893	864	339	M	2143	520	496	739	1203	1060	771	0	662	1107	767	665	682	1205	1465	0
Madrid	587	347	492	M	M	502	209	81	689	392	374	662	0	440	429	393	361	847	805	0
Murcia	577	611	938	M	M	899	655	433	656	259	669	1107	440	0	800	819	765	707	633	0
Pamplona	1010	197	482	M	M	280	367	507	535	538	797	767	429	800	0	109	94	1274	1231	0
Vitoria	907	287	379	M	M	178	264	474	626	628	694	665	393	819	109	0	104	1222	1192	0
Logroño	925	188	468	M	M	259	282	438	527	529	712	682	361	765	94	104	0	1239	1163	0
Ceuta	320	1188	1175	M	M	1231	962	789	1364	953	528	1205	847	707	1274	1222	1239	0	425	0
Melilla	597	1145	1296	M	M	1306	1012	747	1280	882	815	1465	805	633	1231	1192	1163	425	0	0
DEMANDA	561	87	74	87	161	37	167	136	543	401	74	185	487	93	50	161	25	7	7	

Procedemos a resolver el nuevo problema como hemos hecho en el apartado 5.5 de este documento. Deberemos asegurarnos nuevamente que el problema esté balanceado como indicamos a continuación:

$$\sum_{i=Of_i}^{m} Of_i = \sum_{j=D_i}^{n} D_i = 3.343 \text{ Trayectos.}$$

Este será también el mismo valor que demos a la nueva θ=3.343 Trayectos. Con ayuda del programa WinQSB procedemos a resolver el nuevo problema:

Cuadro 12:

SOLUCIONES PARA EL SUPUESTO DEL GKM (Camiones 9.000 kg. Capacidad)

Solution for Kalise: Minimization (Network Flow Problem)

07-10-2017	From	To	Flow	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	Sevilla	Merida	74	218	16132	0
2	Sevilla	Ceuta	7	320	2240	0
3	Sevilla	Melilla	7	597	4179	0
4	Zaragoza	Santander	37	443	16391	0
5	Zaragoza	Madrid	296	347	102712	0
6	Zaragoza	Pamplona	50	197	9850	0
7	Zaragoza	Vitoria	161	287	46207	0
8	Zaragoza	Logroño	25	188	4700	0
9	Las Palmas	Sevilla	649	804	521796	0
10	Las Palmas	Valencia	821	786	645306	0
11	Las Palmas	Santiago	426	784	333984	0
12	Barcelona	Zaragoza	656	330	216480	0
13	Barcelona	Mallorca	87	279	24273	0
14	Valencia	Toledo	136	410	55760	0
15	Valencia	Madrid	191	392	74872	0
16	Valencia	Murcia	93	259	24087	0
17	Santiago	Oviedo	74	339	25086	0
18	Santiago	Valladolid	167	496	82832	0
	Total	Objective	Function	Value =	2206887	

Podemos observar varias diferencias la primera de ellas y tal vez la principal es que el coste total aumenta ahora pasa a ser de 2.206.887€ mientras que con el uso de camiones grandes era de 1.276.786€.

También podemos apreciar que existen algunos cambios en la estructura de distribución: Valencia pasa a ser punto intermedio para la distribución de los productos destinados a Madrid y Toledo. Otro cambio es que Santiago pasa a abastecer a dos destinos: se le suma Valladolid, junto a Oviedo que ya aparecía en el supuesto anterior.

Si tuviéramos que sacar una conclusión con los datos que hemos manejado podríamos decir que la distribución con los camiones grandes es más eficiente en términos de costes que la distribución con el vehículo de 9.000 kilogramos.

6. CONCLUSIONES

En éste trabajo hemos estudiado los métodos de investigación operativa y las aplicaciones de estos en los problemas de logística. Para ello hemos introducido brevemente cómo la teoría de IO se enfrenta a estos problemas y como se resuelven de manera matemática.

Posteriormente hemos ilustrado estos conceptos con un ejemplo donde abordamos un problema en concreto de transbordos. Este supuesto lo hemos construido con una combinación de datos reales, extraídos de diversas fuentes, junto a una serie de suposiciones e hipótesis que hemos ido introduciendo a lo largo de nuestro estudio.

Nuestro objetivo a la hora de diseñar el problema era mostrar que la IO es capaz de ayudar a tomar decisiones a la hora de desarrollar una estructura logística eficiente, dónde según la oferta, se satisfagan las demandas de abastecimiento, con un coste mínimo.

Nuestro supuesto lo hemos encuadrado dentro del mercado nacional de helados, posteriormente hemos escogido una empresa representativa en el mismo como es el GKM. Hemos recopilado la información disponible y establecido las hipótesis necesarias para poder plantear un problema de transbordo. A partir de aquí hemos usado la teoría estudiada para resolver el problema resultante, hemos explicado paso a paso como lo hemos hecho y que métodos y herramientas han sido necesarias para alcanzar una solución.

Obtenida la solución hemos explicado brevemente cómo estos resultados influirían en el hipotético diseño de una estructura logística. Gracias a estos métodos podemos conocer, entre otras cosas, cuál es el coste total y las transferencias de productos para un supuesto concreto.

Tal vez este estudio no haya sido capaz de reflejar fielmente cómo es la logística de este grupo debido a la falta de información. Aún así consideramos que este trabajo nos ha servido para acercarnos a los modelos de transporte y las aplicaciones que estos tienen en el diseño de estructuras logísticas. Debido a la globalización de los mercados, la reducción de costes de transporte y el diseño de estructuras logísticas más eficientes son actualmente decisiones de gran importancia dentro del seno organizativo de las empresas.

Bibliografía

FREDERICK S. HILLIER, R.A.; y GERALD J. LIEBERMAN, (2010): Introducción a la investigación de operaciones, Ediciones McGraw Hill (9ª edición).

HAMDY A. TAHA, (2012): Investigación de operaciones; Ediciones Pearson (9ª edición).

CAHNG, YIH-LONG (2003): WinQSB version 2.0 Hoboken

FOMENTO GOBIERNO DE ESPAÑA: "Observatorio de costes de transporte de mercancías por carretera; ENERO 2017"

<https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/SERVICIOS_TRANSPORTISTA/OBSERVATORIO_COSTES/observatorios.htm > (Consulta: 5 de marzo 2017)

EL ECONOMISTA: Gema Boiza "España, el tercer país del mundo que más dinero gasta en helados" 21 de Septiembre 2016

<http://www.eleconomista.es/distribucion/noticias/7839954/09/16/Espana-el-tercer-pais-del-mundo-que-mas-dinero-gasta-en-helados.html>

ALIMARKET: Javier Rodríguez "Alex Balaguer (Kalise Menorquina): *ahora somos un a compañía Anti negocio no rentable*" 27 de Junio 2016

<https://www.alimarket.es/alimentacion/noticia/217183/alex-balaguer--kalise-menorquina----ahora-somos-una-compania-anti-negocio-no-rentable>