



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.



Distribución óptima del transporte intermodal: aplicación a la exportación de perecederos

Juan Carlos Pérez-Mesa^a y José Antonio Salinas Andújar^b

RESUMEN: Este trabajo analiza los beneficios derivados del uso de la intermodalidad del transporte en el sector exportador de frutas y hortalizas, entendida como el empleo del transporte marítimo de corta distancia combinado con el tráfico por carretera. Se aplican técnicas de decisión multicriterio para realizar una distribución óptima entre la opción terrestre y la intermodal. También se realiza un análisis de sensibilidad que cuantifica los cambios de prioridades que tendrán que producirse en los decisores (exportadores) para motivar un cambio modal. Los resultados muestran que el empleo intermodal conlleva un ahorro en el coste de transporte; como contraposición el exportador debe asumir un aumento del tiempo de entrega de la mercancía.

PALABRAS CLAVE: Autopista del mar, frutas y hortalizas, análisis multicriterio.

Clasificación JEL: F14, Q17.

Optimal distribution of intermodal transport: application to perishables exports

SUMMARY: This paper discusses the benefits using intermodal transport for fruit and vegetables. Multi-Criteria Decision Making techniques are applied for optimal allocation between land or intermodal transport. Also a sensitivity analysis is made for knowing changing priorities in decision-makers (exporters) to encourage a modal shift. The results show savings in intermodal transport costs in relation to land transport cost. However the exporter must assume increased time of delivery of goods.

KEYWORDS: Motorway of the sea, fruit and vegetables, multi-criteria analysis.

JEL classification: F14, Q17.

^a Departamento de Dirección y Gestión de Empresas. Universidad de Almería.

^b Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto Redymar (P10/08) del Ministerio de Fomento y los fondos del MCINN y FEDER: proyectos ECO2008-02258 y ECO2008-03445.

Dirigir correspondencia a: Juan Carlos Pérez Mesa. E-mail: juancarl@ual.es

Recibido en mayo de 2009. Aceptado en julio de 2010.



1. Introducción: intermodalidad

Las políticas europeas de transporte pretenden dar prioridad a la sostenibilidad buscando integrar el tráfico marítimo y terrestre de mercancías, junto con el ferrocarril, en sistemas de transporte intermodales, al mismo tiempo que se alivia la congestión de las carreteras (Sakalys y Palsaitis, 2006). En este sentido, el Libro Blanco del Transporte 2001-2010, constituye un punto de inflexión en la promoción del Transporte Marítimo de Corta distancia (TMCD). En él se señala la necesidad de reforzar la participación de modos alternativos a la carretera y se destaca el TMCD por su eficiencia tecnológica y ambiental, así como por tener un potencial de crecimiento extraordinario ya que posee una capacidad sobre la que no se vislumbra, de momento, saturación o congestión alguna. En este contexto se introduce la noción de Autopista del Mar y se perfilan sus principios, que suponen: i) mayores conexiones entre los puertos y las redes fluviales y ferroviarias; ii) mayor calidad de los servicios portuarios. Las autopistas del mar deben integrarse dentro de las redes transeuropeas de transporte del mismo modo en que lo hacen vías férreas, autopistas o aeropuertos. En resumen, se busca ofrecer un servicio puerto a puerto con un coste de transporte y un nivel de calidad comparables a los que ofrece el camión. Aunque los dos conceptos están relacionados, la AdM implica una visión más amplia que el TMCD (González y Novo, 2007). A pesar del fuerte esfuerzo realizado en los últimos años para potenciar el TMCD, no se han producido avances relevantes que lleven a pensar en la consecución, en el medio plazo, del objetivo comunitario de equilibrio en el patrón modal. Así, la demanda de servicios de TMCD integrados en cadenas logísticas está aún muy por debajo del transporte por carretera (según datos Eurostat, 2005). Entre las razones que explican esta situación están: la preferencia arraigada de los operadores por la utilización del camión, o la carencia de unas infraestructuras mínimas que unan al TMCD con los nodos de superficie y que eliminen las restricciones derivadas de la ruptura de la cadena de transporte (Paixao y Marlow, 2007).

Diversos trabajos han demostrado que existe una aparente preferencia, por parte de los operadores, por la utilización de la carga terrestre (Musso y Marchese, 2002; Napier University, 2002; European Commission, 2003,2004; Vidal, 2007). Estos estudios incluyen la mala imagen del TMCD en la cadena de transporte puerta a puerta, el bajo nivel de normalización de la documentación necesaria en los procedimientos de embarque, las limitaciones derivadas de las infraestructuras portuarias, la falta de información y control sobre la carga en el proceso de tránsito, así como, la existencia de un servicio lento y poco frecuente (Paixao y Marlow, 2001a). A pesar de los inconvenientes también son muchos los puntos positivos con los que cuenta el TMCD: ventajas geográficas y económicas, menor consumo de energía, mejoras medioambientales, la existencia de una capacidad infrautilizada de expansión, y los efectos positivos en las actividades auxiliares que crean empleo y crecimiento económico (Paixao y Marlow, 2001b).

En general, los estudios que analizan los atributos de los servicios proporcionados por los TMCD identifican el diseño de la red logística, el coste y la velocidad como

aspectos clave para atraer a la demanda potencial de los mismos (Paixao y Marlow, 2005). Además, se aprecia una clara voluntad institucional de promover las AdM a través del TMCD, incluyendo el desarrollo de una red europea intermodal de transporte. Aunque los análisis sobre la caracterización y las políticas de promoción de los servicios de TMCD son relativamente numerosos, pocos trabajos han analizado los problemas operativos que surgen cuando se aplican de manera específica estas estrategias. En este sentido, Baird (2004) sostiene que cada ruta es diferente y exige una solución distinta para asegurar la viabilidad comercial, la integración modal efectiva y el cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

En definitiva, el transporte intermodal de mercancías se está transformando en un sector importante dentro de la industria del transporte. Este desarrollo ha ido seguido por un aumento de la investigación en este tema (Macharis y Bontekoning, 2003) en línea con la importancia estratégica que concede la Comisión Europea a esta cuestión.

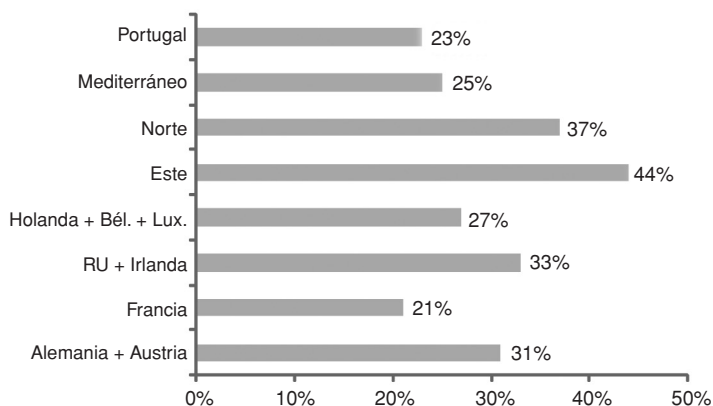
2. Necesidades logísticas en el sector comercializador de frutas y hortalizas

El sector agrario y, en concreto, el hortofrutícola proporciona las mercancías cuyas necesidades logísticas son analizadas en este estudio. La zona sur-oriental española es la principal exportadora europea de frutas y hortalizas. En la actualidad se encuentra sometida a una fuerte presión competitiva de diversos orígenes Extra-UE (p.e. Marruecos, Turquía, Egipto) que obliga a avanzar en el control de la producción. De hecho, diversas provincias exportadoras de la costa mediterránea tienen como destino final, en porcentajes altos, clientes afincados en determinados países (principalmente Francia, Holanda y Bélgica) cuya función primordial es la redistribución de mercancía procedente de España. Por otro lado, los detallistas (cadena de distribución minorista) están intentando solucionar el problema de los abastecimientos internacionales que los condicionan a vender, en una determinada área, los productos que se producen en ella. La resolución de este problema, que vendrá de la mano de la reducción de los costes de transporte y una mejora de los condicionantes comerciales, permitirá que se compre en cualquier lugar del mundo en detrimento de las producciones locales (UE). Por tanto, la tendencia futura llevará a una situación en la que cada cadena contratará con unos pocos suministradores que le garanticen volumen, calidad, gama, servicio continuado, seguridad alimentaria y capacidades de trazabilidad. Todo esto significará que las empresas contratadas tendrán una estrecha relación con sus clientes; lo que les conferirá una estabilidad en sus ventas, siempre y cuando tengan la capacidad logística necesaria para abastecer los centros de compra de estas cadenas.

El transporte terrestre acapara casi el 100% de los flujos de mercancías de frutas y hortalizas de Almería: el aumento tendencial de su coste (Anexo 1), las trabas futuras para su utilización (tasas ambientales o limitación de tránsitos), así como, la dependencia estratégica del sector productor-exportador hortofrutícola del camión hacen necesaria la búsqueda de fórmulas logísticas alternativas, por ejemplo, la utilización del

GRÁFICO 1

% del coste de transporte en relación al precio de importación (CIF) de frutas y hortalizas españolas. Unión Europea



Fuente: Elaboración propia a partir de datos Ministerio de Fomento y Eurostat (2008).

transporte marítimo dentro del marco intermodal¹. Como factor de competitividad debemos tener en cuenta que en una transacción internacional el coste de transporte puede suponer entre el 20-30% del coste total (De Pablo y Pérez Mesa, 2007), siendo el concepto de mayor relevancia después de descontar la mano de obra incluida en las diferentes fases del proceso. En el Gráfico 1 queda reflejado el coste de transporte en relación al precio CIF para las principales áreas de importación europeas².

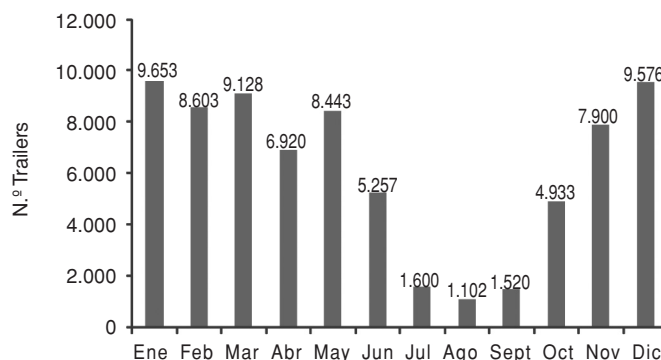
Adicionalmente la utilización del transporte intermodal puede ayudar a reducir el tránsito terrestre entre España y Francia a través de los Pirineos, ya que este punto fronterizo se encuentra saturado. El Gráfico 2 muestra en qué medida el sector hortofrutícola de Almería contribuye a la existencia de un “cuello de botella” en los Pirineos. Se puede observar que, en algunos meses, son más de 9.500 camiones los que salen de Almería con destino a Europa. Si tenemos en cuenta el transporte de otras mercancías, puede decirse que la frontera de los Pirineos está alcanzando un punto crítico que se debe solucionar para evitar la pérdida de competitividad de las empresas que utilizan esta ruta.

¹ Según Pérez Mesa *et al.*, 2009 y tomando como ejemplo el trayecto Almería-Port Vendres puede observarse que el coste del combustible de enviar un trailer de Almería a Port Vendres mediante un sistema intermodal (Tipo Ro-Pax) es de 325 €. Sin embargo, el coste del combustible para un transporte terrestre es 739 €, es decir, 2,2 veces mayor.

² Agrupadas en función de su proximidad geográfica, la afinidad en las rutas de distribución y sus preferencias de importación.



GRÁFICO 2

Número de camiones con salida en Almería y destino a la exportación UE

Fuente: Elaboración propia a través de datos de aduanas (2007).

Este estudio aborda la solución de lo que comúnmente se denomina “problema del transporte” (PT), que implica el tratamiento de los aspectos relacionados con la distribución óptima de mercancías entre los productores y clientes, cuestión que fue desarrollada originalmente por Hitchcock (1941). En las propuestas actuales de solución al PT, se han incorporado las funciones multiobjetivo considerando prioritaria la optimización del tiempo de entrega y el coste como variables fundamentales (Li y Lai, 2000). Diversas investigaciones han profundizado en esta cuestión: Current *et al.* (1990) o, más recientemente Klose y Drexler (2005), realizan una revisión del diseño multiobjetivo aplicado al PT; Das *et al.* (1999) crean un modelo de decisión entre beneficio y coste. Recientemente, Pramanik y Roy (2008) mejoran los desarrollos de los modelos de transporte multiobjetivo mediante programación por metas difusas. Sin embargo, las aplicaciones específicas de estas técnicas al transporte marítimo o intermodal son muy escasas (Vedat y Manish, 2007) por lo que el campo de mejora es amplio. En este sentido, Osleeb y Ratick (1983) aplican la decisión multicriterio para minimizar tiempos de entrega y costes en transportes marítimos de carbón; Eleftherios (2001) aplica la misma metodología para la selección de rutas para el transporte marítimo de petróleo considerando como variables de decisión el coste y el riesgo.

El presente trabajo aporta una adaptación novedosa del problema de la elección entre sistemas de transporte (terrestre e intermodal) y el reparto óptimo de mercancías perecederas, concretamente frutas y hortalizas. Esta técnica permitirá, adicionalmente, investigar el grado de predisposición actual de los exportadores hacia el cambio modal. En este artículo se utilizarán técnicas de programación multicriterio con el objetivo de minimizar el coste y el tiempo de tránsito, incluyendo, en esta última variable, la frecuencia del transporte elegido. A la vez, se analizará la ponderación real

que los exportadores dan a ambas variables, lo que permitirá proponer posibles estrategias que favorezcan la utilización de la intermodalidad y, por ende, aumentar la competitividad de las empresas exportadoras ya que este cambio crea un patrón de transporte más sostenible.

3. Metodología

La metodología de optimización multicriterio incluye, entre otras, a la programación por compromiso, la programación por metas y el método del punto de referencia (Romero *et al.*, 1998). Estas tres técnicas están relacionadas (Morón *et al.*, 1996). Desde el punto de vista práctico, la técnica más extendida es la programación por metas (Tamiz *et al.*, 1998), que se utiliza para calcular las ponderaciones que un decisor aplicaría a los atributos que componen su función de utilidad. Varios trabajos han mostrado que los operadores empresariales muestran una función de utilidad compleja, es decir, tienen en cuenta varios atributos a la hora de tomar sus decisiones (Berbel y Rodríguez, 1998). En este sentido, el conocimiento de los pesos o ponderaciones de cada factor de decisión implica una dificultad añadida que diversos estudios se han encargado analizar y solucionar (por ejemplo, Ballester, 1997; Gómez-Limón y Berbel, 2000 o Sumpsi *et al.*, 1996). En concreto, en este trabajo, se utiliza la programación por metas ponderadas para el cálculo de una función de utilidad subrogada. Esta técnica consiste en minimizar las desviaciones de los atributos respecto a un punto ideal (inalcanzable), ponderando la importancia de cada atributo para el decisor.

En definitiva, se busca la maximización de una función de utilidad de la forma:

$$U = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot f_i(x) \quad [1]$$

Donde $f_i(x)$ es la expresión matemática del atributo i -ésimo y ω es el peso o ponderación que el decisor da a ese atributo. Para el cálculo de los pesos elaboraremos una matriz de pagos de la forma (Sumpsi *et al.*, 1996; Gómez-Limón *et al.*, 2003):

CUADRO 1
Matriz de pagos

	f_1	f_2		f_n
f_1	$f_1^* = f_{11}$	f_{12}		f_{1n}
f_2	f_{21}	$f_2^* = f_{22}$		f_{2n}
...				
f_n	f_{n1}	f_{n2}		$f_n^* = f_{nn}$

Fuente: Elaboración propia.

Los elementos de la matriz de pagos (Cuadro 1) se obtienen optimizando cada uno de los objetivos individualmente, de tal forma que f_{1n} es el valor del atributo “1” cuando el objetivo “ n ” es optimizado. A continuación se resuelve el siguiente sistema de ecuaciones:



$$\sum_{i=1}^n \omega_i \cdot f_{ij}(x) = f_i^{obs}; j = 1 \dots n, \quad y \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

Siendo f_i^{obs} el valor observado para el i -ésimo objetivo (valor de la realidad). Sin embargo, este sistema no siempre tendrá una solución exacta por lo que será necesario recurrir al siguiente problema de minimización:

$$Min \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i + p_i}{f_i^{obs}} \right) \quad [2]$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i \cdot f_{ij}(x) + n_i - p_i = f_i^{obs}; \quad j=1 \dots n$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

Siendo n y p las variables que reflejan las desviaciones negativas y positivas. Para finalizar se maximizará una función de utilidad separable y aditiva que Dyer (1977) demuestra consistente con el cálculo de los pesos arriba comentados.

$$Max \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{k_i} f_i(x) \quad [3]$$

Sujeto a:

$$x \in F, \quad x \geq 0.$$

Donde F es el conjunto de restricciones utilizadas y k_i es un factor de normalización: la resta entre el valor ideal (f_i^*) y el antideal (f_i^*).

Como punto peculiar del modelo de programación utilizado, consecuencia del caso de aplicación que se muestra abajo, si empleamos para el cálculo de los pesos f_i^{obs} , es decir, el valor observado de la realidad, implicaría que éste se derivaría de una situación en la que el factor tiempo dominaría completamente al factor coste debido a que, en la actualidad, prácticamente el único sistema de transporte usado es el terrestre. Por otro lado, las rutas intermodales que se utilizan no se encuentran en funcionamiento. Por estas razones se utilizará un valor observado “futuro” (f_r^{obs}) que implica que el decisor estará dispuesto a perder tiempo en la entrega en favor de un ahorro de costes. Sobre esta premisa se realizará un análisis de sensibilidad variando el valor f_r^{obs} .

Para completar el análisis se tratarán de encontrar los pesos reales o ponderaciones que el operador hortofrutícola da, en la actualidad, a los atributos coste y tiempo.

Para ello se ha aplicado una encuesta basada en el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process o AHP) desarrollado por Saaty (1977, 2001). Una aplicación similar a la realizada en este trabajo, donde se utilizan valores monetarios en la metodología AHP, puede verse en Kallas *et al.* (2007). Sin embargo, este artículo introduce una serie de novedades metodológicas derivadas del caso concreto de aplicación práctica.

La resolución de problemas multicriterio a través de la técnica AHP es equivalente a la optimización de una función de utilidad multiatributo (Zahedi, 1987). De forma general, el AHP está asociado a una función de utilidad aditiva (Kamenetzky, 1982). Así, la utilidad proporcionada al decisor por cada una de los diferentes atributos puede obtenerse aplicando la expresión [1].

4. Funciones objetivo

4.1. Coste de transporte

Partiremos de una matriz C de costes unitarios (Cuadro 2), por camión, derivada del traslado de la mercancía desde cada puerto de destino hasta la puerta del cliente y desde el lugar de origen al cliente final. Adicionalmente, se define un vector P que recoge los costes portuarios (€/camión o plataforma) y un vector B que representa los costes del tránsito marítimo (€/camión o plataforma). En este trabajo consideramos un tipo de transporte Ro-Ro³, por tanto, los costes marítimos hacen referencia a la oferta de una naviera dispuesta a prestar el servicio más los costes de estructura de mantener la plataforma de un tráiler inmovilizada durante el tiempo del tránsito marítimo. Los costes portuarios equivalen a los gastos derivados de la carga y descarga en el puerto (origen y destino). En nuestro caso, las ofertas presentadas por las navieras son genéricas y llevan incluidos los costes portuarios por lo que disponemos del vector suma $B+P$.

CUADRO 2

Matriz de costes terrestres unitarios (C), costes portuarios (P) y costes marítimos (B)

Costes mar (€/camión)	Costes portuarios (€/camión)		Cliente 1	Cliente 2	Cliente j
0	0	Origen 1	c_{11}	c_{12}	c_{1j}
b_2	p_2	Puerto 2	c_{21}	c_{22}	c_{2j}
b_3	p_3	Puerto 3	c_{31}	c_{32}	c_{3j}
				
b_i	p_i	Puerto i	c_{i1}	c_{i2}	c_{ij}

Fuente: Elaboración propia.

³ Buques con carga y descarga rodada.

Definimos la matriz Q como aquella que recoge las cantidades que serán transportadas desde cada puerto de destino a cada cliente o desde el origen hasta cada cliente (Cuadro 3). También se define un vector D que equivale a la demanda de camiones de cada cliente.

CUADRO 3

Matriz de cantidades o número de camiones (Q) y vector de demanda (D)

Demanda	D₁	D₂	D_j
	Cliente 1	Cliente 2	Cliente j
Origen	q ₁₁	q ₁₂	q _{1j}
Puerto 2	q ₂₁	q ₂₂	q _{2j}
Puerto 3	q ₃₁	q ₃₂	q _{3j}
...			
Puerto i	q _{i1}	q _{i2}	q _{ij}

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo será encontrar los valores de la matriz Q que minimizan la función total de costes de transporte y portuarios para el sector:

$$\text{Minimizar: } C_{\text{Total}} = \sum_{n=1}^i \sum_{m=1}^j q_{nm} \cdot (c_{nm} + b_n + p_n) \quad [4]$$

Sujeta a las restricciones siguientes:

$$\sum_{n=1}^i q_{nm} = D_m; \quad m = 1 \dots j$$

$$q_{nm} \geq T_{nm}$$

Siendo T el número de camiones mínimo (o tonelaje) que se necesita transportar para que la línea sea rentable. Esta restricción se incluye por si existiera la obligación de mantener abiertas todas las líneas con un mínimo de tráfico. La anterior restricción podría ser reformulada en términos de costes, por ejemplo: si sabemos que el coste para el exportador $(b_n + p_n) \cdot q_{nm}$ es el ingreso de la empresa naviera (que paga a su vez al puerto), y conocemos que ésta deberá cubrir unos determinados costes de estructura (ϕ); se deberá cumplir que: $(b_n + p_n) \cdot q_{nm} \geq \phi_n$.

Adicionalmente, los puertos podrían tener restricciones a la hora del tratamiento de mercancías, por lo que no serían capaces de absorber todo el tráfico suministrado. En este caso la restricción que deberíamos introducir sería: $q_n \leq r_n$; siendo r_n el número de camiones o tonelaje (de perecederos) que el puerto “n” podría absorber sin realizar nuevas inversiones.

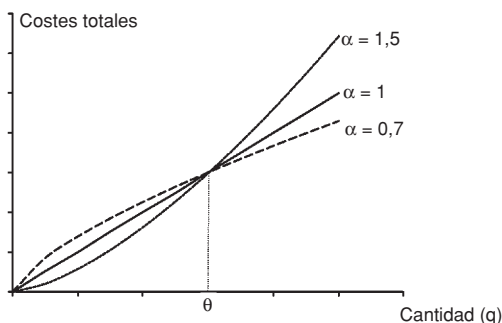
Nótese que podría ser deseable introducir un tipo de función de costes no lineal debido a que el aumento de las cargas que pasan por un determinado puerto podría aumentar la competencia de los operadores logísticos y hacer reducir el coste unitario del transporte marítimo. Sin embargo, a efectos operativos esto se hace difícil debido a que se debería realizar una estimación por cada ruta, lo que supondría obtener 76 modelos (4 puertos x 19 destinos finales); estimaciones para las que habría que conseguir ofertas suficientes ofrecidas por navieras en función de volúmenes transportados, algo que ni los propios operadores conocen con total certeza, ya que dependerá, por ejemplo, del tipo de buque con el que operen y las instalaciones que posean en los puertos. Para solventar este problema se ha diseñado una función de costes marítimos de tipo potencial. Se trataría de simular el efecto de la existencia de costes decrecientes de escala sobre el reparto de rutas. La formulación utilizada es la siguiente:

$$C_{Total} = \sum_{n=1}^i \sum_{m=1}^j c_{nm} \cdot q_{nm} + (b_n + p_n) \cdot \theta_n^{(1-\alpha)} q_{nm}^{\alpha} \quad [5]$$

θ será el tonelaje (o número de camiones/plataformas) donde los costes totales lineales del transporte marítimo según [4] se igualan a los potenciales según [5] (Gráfico 3). Este valor, por tanto, puede ser entendido como un umbral de carga. La especificación [5] se ha construido de esta forma para ayudar a comparar las diferencias que se producen en la distribución de mercancías como consecuencia de cambios en el comportamiento de los costes derivados del aumento de cargas. Partiendo de la existencia de economías de escala, el valor de α debe ser inferior a la unidad ya que determina la elasticidad de los costes marítimos con relación al aumento de la producción⁴.

GRÁFICO 3

Comportamiento de la función de costes potencial para el transporte marítimo



Fuente: Elaboración propia.

⁴ En este trabajo se ha utilizado $\alpha = 0,7$. El valor de θ , a modo de prueba, se ha establecido en el promedio aritmético que corresponde de repartir la demanda total (en camiones) entre cada uno de los puertos.



4.2. Tiempo de tránsito: transporte y frecuencia

Como punto novedoso, el tiempo de tránsito total (T) incluirá 2 variables que son relevantes en la elección entre un sistema terrestre o intermodal: 1) el tiempo de traslado (T_t) que hace referencia a la duración del transporte entre el puerto (o zona) de origen al puerto (o lugar) de destino más, en su caso, el transporte adicional terrestre entre el puerto de destino y el cliente final; 2) una variable que denominamos tiempo de espera máximo (T_e) cuya finalidad es considerar en el análisis la frecuencia del medio de transporte. De esta forma si, por ejemplo, el operador eligiese el transporte terrestre al intermodal, y sabiendo que existen salidas de camiones 7 veces a la semana, el tiempo máximo de espera sería igual al número total de horas semanales (168 horas) dividido entre la frecuencia semanal del medio de transporte (salidas/semana) $T_e = \frac{168 \text{ horas/semana}}{Fr}$, es decir, 24 horas. Esta cifra nos indica el número máximo de horas que, en el peor de los casos, tendría que esperar un operador para poder enviar su mercancía al cliente como consecuencia de no poder encontrar un camión disponible. Con esta formulación podemos concluir que $T = T_t + T_e$. Por tanto, la función que pretendemos minimizar será:

$$T_{Total} = \sum_{n=1}^i \sum_{m=1}^j q_{nm} (T_{t_{nm}} + T_{e_n}) \quad [6]$$

Que representará el tiempo total máximo (T_{total}) que un operador (o sector) tardaría en enviar toda la mercancía (demandada) a su cliente.

5. Una aplicación real: transporte intermodal de frutas y hortalizas desde Almería

5.1. Datos

Se supone que se pretenden trasladar camiones de frutas y hortalizas desde el puerto de Almería mediante un sistema intermodal. Se desea repartir el tránsito entre el transporte terrestre y el intermodal. El producto, puede transportarse por barco desde el puerto de Almería hacia una red de puertos de destino⁵ (Port Vendrés, Brujas, Dunkerque y Rotterdam⁶); desde allí se trasladará por carretera a los clientes finales. En caso contrario la mercancía se enviará directamente por carretera desde Almería hasta el cliente final. Los datos utilizados son reales: el coste de un camión

⁵ No se ha incorporado ningún puerto en Reino Unido (el puerto elegido fue Sheerness) porque éste únicamente sería utilizable para servir la demanda de este país. En todos los casos en los que se incluye a Londres como destino final de alguna ruta, que incluye trayecto marítimo, el óptimo se obtendría de sustituir el puerto correspondiente por el de Sheerness.

⁶ Estos puertos (junto con el de Sheerness) fueron elegidos después de realizar un análisis de prospectiva junto con la Autoridad Portuaria de Almería.

frigorífico es de 1,14 €/km cargado y 0,99 €/km vacío (Ministerio de Fomento, 2007); las distancias (km) entre puertos y clientes finales han sido calculadas mediante software de guía en carretera; se supone que la demanda actual es igual a la oferta (exportaciones) media de los 2 últimos años (2007, 2008). Cada camión puede transportar 20 toneladas. La suma de los costes portuarios y del transporte marítimo⁷ queda recogida en el Cuadro 4, mientras que en el Cuadro 5 se muestran los tiempos de tránsito puerta-puerta según la elección de transporte. Estos costes incluyen los trayectos de ida y vuelta. En el tránsito de vuelta se considera que los containers están vacíos: este problema existe en la realidad; de hecho, su resolución podría abaratar considerablemente los trayectos.

CUADRO 4

Matriz de Costes totales (Ida y vuelta): terrestre+marítimo (€/camión).
Vector de demanda final (toneladas)

€/Plataforma-Camión	Port Vendres (1)	Dunquerque (1)	Brujas (1)	Rotterdam (1)	Carretera (2)	Demanda (Toneladas)
Berlín	5.541	5.478	5.456	5.204	5.744	134.264
Hamburgo	5.404	5.116	5.095	4.797	5.607	89.509
Stuttgart	4.255	5.110	5.088	5.022	4.460	85.034
Colonia	4.503	4.369	4.350	4.283	4.708	44.755
R. Alemania	4.111	4.290	4.328	4.367	4.665	93.985
Perpignan	1.976	6.024	6.132	6.494	2.166	224.341
París	3.760	4.205	4.316	4.677	4.034	64.097
Resto Francia	2.485	4.119	4.221	4.303	3.809	32.049
Barendrecht	4.708	4.149	4.057	3.750	4.913	252.039
Londres	4.689	4.147	4.286	4.735	4.943	184.997
Milán	4.193	6.437	6.415	6.520	3.841	47.830
Roma	4.475	7.130	7.110	7.213	4.678	47.830
Bruselas	4.454	3.920	3.898	4.033	4.622	47.791
Varsovia	4.420	6.666	6.642	6.389	6.929	41.223
Praga	5.220	6.807	5.844	5.685	5.423	38.032
Centro Europa	4.111	5.350	5.612	5.758	4.494	46.055
Estocolmo	7.390	7.102	7.080	6.783	7.595	48.660
Copenhague	6.095	5.805	5.786	5.486	6.298	28.595
Helsinki	8.426	8.136	8.114	7.816	8.628	28.595

**Costes trayecto
mar + Costes
portuarios
(€/plataforma-
Camión)**

1.950	3.584	3.686	3.725	0
-------	-------	-------	-------	---

(1) Se supone sistema de transporte marítimo será Ro-Ro. Este viaje implica el traslado desde el puerto de Almería al puerto de destino más el tránsito terrestre desde el puerto de destino hasta la puerta del cliente final (y vuelta).

(2) Este viaje implica el traslado de la mercancía en camión desde Almería hasta la puerta del cliente final (y vuelta).

Fuente: Elaboración propia.

⁷ Obtenidos mediante petición de ofertas de navieras para la prestación del servicio.

CUADRO 5

**Matriz de tiempos de tránsito (T_t) y vector tiempo máximo de espera (T_e).
Trayecto de ida (horas)**

Tiempo puerta-puerta	Port Vendres (1)	Dunquerque (1)	Brujas (1)	Rotterdam (1)	Carretera (1)(2)
Berlín	47	85	92	96	29
Hamburgo	46	85	90	94	29
Stuttgart	42	85	90	95	24
Colonia	44	81	88	92	25
R. Alemania	42	81	88	93	25
Perpignan	32	90	96	103	12
Paris	40	82	89	95	21
Resto Francia	34	80	87	92	18
Barendrecht	45	80	86	90	27
Londres	45	80	89	95	30
Milán	41	88	95	100	23
Roma	44	95	102	107	27
Bruselas	44	79	86	91	25
Varsovia	43	91	99	102	36
Praga	45	92	90	98	28
Centro Euro	42	85	93	98	28
Estocolmo	57	94	99	103	39
Copenhague	50	87	94	97	31
Helsinki	64	100	107	111	47
Tiempo puerto Almería a puerto destino (horas)	32	78	85	90	0
Frecuencia (salidas semanales)	4	4	4	4	6
Tiempo espera máximo en horas (T_e)	42	42	42	42	28

(1) Este viaje implica el traslado desde el puerto de Almería al puerto de destino más el tránsito terrestre desde el puerto de destino hasta la puerta del cliente final (no está sumado el Tiempo de espera máximo).

(2) Este viaje implica el traslado de la mercancía en camión desde Almería hasta la puerta del cliente final.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la demanda (Cuadro 4) muestra cómo las principales zonas donde se concentra el transporte de perecederos procedentes de Almería son, por este orden: Barendrecht, en Holanda, debido a que en la zona limítrofe con el municipio de Ridderkerk están ubicadas importantes empresas como The Greenery y Bakker Barendrecht que concentran la importación de frutas (incluidas frutas exóticas) y hortalizas de todo el mundo para redistribuirlas a clientes de toda Europa; Perpignan, también como zona de concentración para su venta posterior, debido a la existencia del mercado mayorista de Saint Charles y por la presencia de centrales de compra de grandes

cadenas de distribución (p.e. Carrefour); por último, Londres y Berlín como zonas de consumo final. Sumando, los países que reciben la mayor parte de los envíos son: Alemania, Francia, Holanda y Reino Unido. El Cuadro 5, muestra que mientras el trayecto marítimo a Port Vendres conlleva casi día y medio de viaje, los trayectos más lejanos (puertos atlánticos) suponen emplear, de media, casi 4 días de viaje.

5.2. Aplicación del modelo de programación multicriterio: resultados

Tomando como base el Cuadro 2, se construye la matriz de pagos correspondiente a las funciones optimizadas de tiempo y coste. Aunque a priori puede parecer que no existe conflicto entre el coste y el tiempo de tránsito, ya que cabría suponer que la minimización del coste de transporte implicaría menos horas de tránsito, esto no es así ya que estamos comparando el transporte intermodal con el terrestre: el primer sistema, aunque más lento, tiene en la mayoría de los casos un coste inferior. La relación inversa entre ambas variables puede verse en el Cuadro 6. Tal y como se aprecia, la relación funcional entre ambas variables viene determinada por la función: Coste = $40^7 - 0,083$ Tiempo. Esta razón se utilizará para obtener el tiempo total de tránsito que corresponderá a cada valor de coste cuando se realice el análisis de sensibilidad que se llevará a cabo variando f_i^{obs} según el modelo [2].

CUADRO 6
Matriz de pagos entre coste (€) y tiempo de tránsito (horas)

	Costes totales del transporte para el sector (€)	Tiempo total de transporte para el sector (horas)
Costes totales del transporte para el sector (€)	320.995.312*	372.720.764
Tiempo total de transporte para el sector (horas)	8.538.490	4.243.179*

(*) Valores de cada objetivo cuando se optimiza este mismo (valor ideal).

Fuente: Elaboración propia.

Del Cuadro 7 y el Gráfico 4, se desprende la dificultad que conlleva el cambio modal. Por ejemplo, si partimos de la situación actual que supone un uso casi nulo del transporte intermodal y quisiéramos conseguir que los exportadores utilizaran este sistema en un 42% de los casos, el sector tendría que estar dispuesto a que el tiempo de entrega de la mercancía se incrementase un 80%, como punto positivo el coste de transporte se vería reducido en un 10%. Esto equivale a decir que el decisor tendría que valorar el factor coste 3,7 veces más que el factor tiempo. La situación actual se deriva del hecho de que el operador cree que con el transporte marítimo se asume un riesgo mayor como consecuencia de un menor control de la mercancía a bordo, y de un mayor número de mermas provocadas por un traslado más prolongado

de productos altamente perecederos. Por tanto, el número de reclamaciones, por defectos en destino de la producción, aumentarían. De hecho, es común en el sector que los importadores reclamen descuentos a sus proveedores como consecuencia de partidas defectuosas, que no son tal, cuando los precios en destino caen bruscamente y no compensan las condiciones pactadas de antemano. El exportador puede pensar que el transporte intermodal proporciona a su cliente más excusas para aplicar descuentos.

CUADRO 7

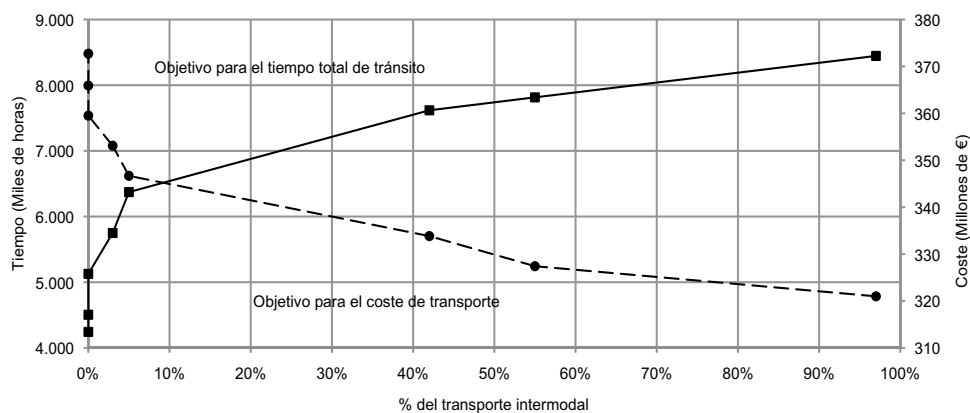
Análisis de sensibilidad: cálculo de pesos

Objetivos (f_{is}^{obs}): expectativas futuras		Importancia que el decisor da a las variables:		Resultados reales del programa		Uso Intermodal
Coste (€)	Tiempo (h)	ω (coste)	ω (tiempo)	Coste (€)	Tiempo (h)	
320.995.312	8.538.490	1,00	0,00	320.995.312	8.446.161	97%
327.415.218	7.815.084	0,83	0,17	321.047.213	8.522.241	55%
333.835.124	7.617.993	0,79	0,21	339.868.738	6.118.157	42%
346.674.937	6.372.531	0,50	0,50	365.425.852	4.335.841	5%
353.094.843	5.749.800	0,38	0,62	367.547.797	4.287.287	3%
359.514.749	5.127.069	0,26	0,74	372.720.764	4.243.179	0%
365.934.656	4.504.338	0,13	0,87	372.720.764	4.243.179	0%
372.720.764	4.243.179	0,00	1,00	372.720.764	4.243.179	0%

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 4

Comparación entre objetivos (coste y tiempo de tránsito) y uso intermodal del sector (%)



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 8 quedan recogidos los resultados de la ponderación ($\text{coste} = 0,79$) para el caso del modelo lineal; en este caso las rutas intermodales más cargadas serían Almería-Rotterdam-Barendrecht, con un traslado de 12.602 camiones al año, y Almería-Dunkerque-Londres por donde pasarían 9.250 camiones al año. Dos puntos importantes de importación, Perpignan y Berlín se abastecerían por vía terrestre. Los puertos de referencia serían, en este orden: Rotterdam (con 252.039 toneladas transportadas) y Port Vendres (215.916 toneladas). El transporte intermodal supondría el 42% del total.

En el caso particular en que ($\text{coste} = 0$), el reparto modal haría que se utilizase el transporte terrestre en un porcentaje del 100% según la distribución de demanda que muestra el Cuadro 4. En el caso en que ($\text{coste} = 1$), el reparto modal óptimo queda recogido en el Anexo 2 (la intermodalidad supondría el 97%), las líneas marítimas con más tránsito serían: Almería-PortVendres (675.250 toneladas, es decir, más de 33.000 plataformas/año) y Almería-Rotterdam (577.756 toneladas o casi 29.000 plataformas/año). La tercera línea en importancia sería Almería-Dunkerque con un transporte de casi 9.300 plataformas/año (184.997 toneladas). Los cálculos muestran cómo las rutas intermodales con más carga serían: a) Almería-Rotterdam-Barendrecht con un traslado de 12.602 camiones/año; y b) Almería-Port Vendres-Perpignan con un transporte de 11.217 camiones/año. Almería-Rotterdam-Berlín, Almería-Rotterdam-Hamburgo, y Almería-Port Vendres-Stuttgart también serían rutas importantes.

La prueba de costes potenciales con ($\text{coste} = 1$) y un volumen de carga mínimo elevado (valor de θ) hace que la opción terrestre se incremente hasta el 37,2% (con costes lineales representaba el 3%). Los puertos con menores cargas se ven penalizados por no conseguir un volumen suficiente que haga sus costes competitivos con relación al camión. Es el caso de Brujas y Dunquerque (ver Anexo 3).

Otra razón importante que influye en la predilección del transporte terrestre frente al intermodal, y que sería necesario comentar en el caso concreto que analizamos, es que este último implica necesariamente una mayor organización de la comercialización en origen de cara al aseguramiento de cargas en las líneas. El propio sistema comercializador almeriense compuesto en la actualidad por más de 200 exportadores dificulta este objetivo. Como punto positivo, la existencia de empresas fuertes en el transporte terrestre está provocando que los operadores logísticos especializados busquen soluciones rentables en la intermodalidad frente al crecimiento tendencial del coste de la utilización del camión. Este hecho provocará que aumenten las ofertas y las opciones (flexibilidad) para el exportador ya que estas empresas logísticas integrales se podrán encargar del grupaje de cargas.

5.3. *Contraste con la realidad: cálculo de pesos*

En este apartado se muestran los resultados de la aplicación de una encuesta, basada en la metodología AHP, realizada a exportadores hortofrutícolas con el objetivo de conocer la importancia relativa que éstos atribuyen, en la realidad, al coste y el tiempo.

CUADRO 8

Reparto óptimo según la ponderación: ω (coste) = 0,79; ω (tiempo) = 0,21.
Función de costes lineal

Cientes Finales	Port Vendres (1)	Dunquerque (1)	Brujas (1)	Rotterdam (1)	Carretera (2)	Camiones desde Almería	Toneladas desde Almería
Berlín	0	0	0	0	6.713	6.713	134.264
Hamburgo	0	0	0	0	4.475	4.475	89.509
Stuttgart	0	0	0	0	4.252	4.252	85.034
Colonia	0	0	0	0	2.238	2.238	44.755
R. Alemania	4.699	0	0	0	0	4.699	93.985
Perpignan	0	0	0	0	11.217	11.217	224.341
Paris	0	0	0	0	3.205	3.205	64.097
R. Francia	1.602	0	0	0	0	1.602	32.049
Barendrecht	0	0	0	12.602	0	12.602	252.039
Londres	0	9.250	0	0	0	9.250	184.997
Milán	0	0	0	0	2.391	2.391	47.830
Roma	0	0	0	0	2.391	2.391	47.830
Bruselas	0	0	0	0	2.390	2.390	47.791
Varsovia	2.061	0	0	0	0	2.061	41.223
Praga	0	0	0	0	1.902	1.902	38.032
Centro Europa	2.433	0	0	0	0	2.433	48.660
Estocolmo	0	0	0	0	1.430	1.430	28.595
Copenhague	0	0	0	0	1.430	1.430	28.595
Helsinki	0	0	0	0	2.303	2.303	46.055
Total Plataformas/ Camiones	10.796	9.250	0	12.602	44.034	76.681	
Total toneladas	215.916	184.997	0	252.039	880.672		1.533.624

(1) Este viaje implica el traslado desde el puerto de Almería al puerto de destino más el tránsito terrestre desde el puerto de destino hasta la puerta del cliente final.

(2) Este viaje implica el traslado de la mercancía en camión desde Almería hasta la puerta del cliente final.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo a Saaty (1980), la ponderación de los atributos (w_i) se obtiene sobre la base de comparaciones por pares. Saaty propone una escala entre 1 y 9 (el 1 equivale a una importancia similar entre ambos atributos, mientras que el 9 representa una importancia absoluta del primer atributo respecto al segundo). En nuestro caso, para cada encuestado (k), se ha generado una matriz, por destino (p) de la mercancía, en la que se comparan los valores: T_p (ahorro de tiempo en horas del transporte terrestre con relación al intermodal) y C_p (aumento de coste, en euros, del transporte intermodal con relación al terrestre). Estos valores se han calculado a partir de los Cuadros 4 y 5, teniendo en cuenta la ruta que minimiza el coste y utilizando los aumentos de

tiempos asociados al uso intermodal para ese mismo itinerario. Esto se ha realizado de este modo porque se pretenden extraer conclusiones de los trayectos más viables. Por tanto, para construir esta matriz el encuestado sólo tiene que valorar el ahorro de tiempo con relación al aumento de coste (es decir, introducir el valor de a_{21k}) para el destino concreto de la mercancía (p) según la encuesta⁸ que se propone en el Anexo 4.

Para el cálculo de los pesos particulares que cada encuestado asigna a los diferentes atributos se ha optado por la media geométrica ya que la literatura (Fichtner, 1986) no encuentra evidencia alguna sobre la superioridad absoluta del empleo de otros sistemas (p.e. regresiones o programación por metas). La expresión matemática utilizada será:

CUADRO 9
Matriz de Saaty por país de destino

País de destino (p)	Aumento de Tiempo del transporte intermodal con relación al terrestre= T_p	Ahorro de Coste del transporte intermodal con relación al terrestre = C_p
T_p	$a_{11k}=1$	$a_{12k}=1/ a_{21k}$
C_p	a_{21k}	$a_{22k}=1$

Fuente: Elaboración propia.

$$w_{ikp} = \left[\prod_{j=1}^n a_{ijkp} \right]^{1/n} \quad [7]$$

A continuación se procede a agregar todas las elecciones del encuestado por país, para ello se utiliza una media ponderada utilizando la importancia relativa de cada destino en relación con su demanda (w_p), valor que puede extraer de el Cuadro 4; por tanto:

$$w_{ik} = \sum_p w_{ikp} \cdot w_p, \text{ siendo } \sum_p w_p = 1 \quad [8]$$

Como punto final debe resumirse toda la información suministrada por cada uno de los encuestados. Aunque la técnica AHP fue diseñada para decisiones individuales, posteriormente se generalizó para la decisión de grupos (Easley *et al.*, 2000). Tal y como proponen Forman y Peniwati (1998) se utiliza, de nuevo, la media geométrica para la integración de los encuestados⁹:

⁸ De la encuesta se ha eliminado el destino final “Milán” ya que el coste del transporte intermodal es superior al terrestre.

⁹ Para realizar la encuesta se ha contado con la colaboración de la Asociación de Organizaciones de Productores de Almería (COEXPHAL). Esta entidad está compuesta por 75 empresas y agrupa al 75% de la exportación realizada desde Almería. El porcentaje de respuestas (15 empresas), en volumen exportación, representa el 23% de COEXPHAL y el 17% de Almería. En general estamos hablando de una muestra formada por empresas de economía social (cooperativas y sociedades agrarias de transformación), con un volumen de exportación que varía entre 15.230 t y 46.360 t.

$$w_i = \left[\prod_{k=1}^h a_{ik} \right]^{1/h} \quad [9]$$

Los resultados del cálculo de pesos pueden verse en el cuadro siguiente. Se añaden las cifras derivadas del empleo adicional de una media aritmética en vez de la formulación [9] ya que en [7], y según la estructura de la matriz de Saaty en nuestro caso (Cuadro 9), la media geométrica equivaldrá a la aritmética.

CUADRO 10
Pesos agregados de los atributo coste y tiempo de tránsito

	W_{Tiempo}	W_{Coste}
Pesos agregados (Media Geométrica)	0,475	0,525
Media Aritmética	0,481	0,519
Desviación típica	0,072	0,072

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos con la encuesta, en el 44,8% de los 270 casos propuestos (15 encuestas \times 18 casos cada una) se elige el transporte intermodal (menores costes). A pesar de estos datos, en el Cuadro 10 se aprecia cómo el factor coste y tiempo tienen un peso relativo muy similar. Aunque a primera vista, estos resultados podrían sugerir que la opción marítima debería estar más extendida, el Cuadro 7 confirma lo observado en la realidad: con estos niveles, la intermodalidad sólo llegaría a suponer un 5% del total del transporte, es decir, seguiría siendo una opción residual.

Adicionalmente, la estructura de la encuesta realizada (Anexo 4) nos permite estimar un modelo logit binomial¹⁰ de la forma¹¹:

$$P_i = \alpha_i + \beta_{1i} Ct_i + \beta_{2i} T_i \quad [10]$$

Donde P_i será la probabilidad de elección del transporte intermodal¹², o dicho de otra forma, la cuota de mercado de dicho sistema; T_i el aumento de tiempo con relación al transporte terrestre y Ct_i será el ahorro de costes. En el Cuadro 11, se expone

¹⁰ Considerando que un valor mayor que uno equivale a la elección del transporte intermodal.

¹¹ En este modelo también se incluyeron las variables volumen de comercialización y exportación, pero resultaron no significativas.

¹² La utilización del modelo logit binomial implica la utilización de una distribución Weibull, por lo que $P_{ni} = \frac{e^{v_i}}{1 + e^{v_j}}$, donde v_i y v_j serán respectivamente la utilidad observada del empleo de la opción intermodal (i) y terrestre (j). Descripciones teóricas y prácticas de este tipo de modelos pueden verse en McFadden y Train (2000).

los resultados de la estimación del modelo y las elasticidades de cada una de las variables¹³. La estimación muestra que éstas poseen los signos adecuados: un aumento del ahorro de coste del transporte intermodal o un incremento del tiempo de entrega, con relación a camión, aumenta la cuota de mercado. Las elasticidades, menores a la unidad, nos indican que los cambios en ambas variables tendrán efectos menos que proporcionales en la probabilidad de elección de la intermodalidad. Las elasticidades, también nos muestran la importancia relativa de cada una de las variables para el decisor. Como se aprecia, el coste se configura como la más relevante. Los resultados son similares a los obtenidos mediante la metodología AHP.

CUADRO 11

Estimación del modelo logit binario

Variable	Coefficiente
Constante	0,0206 (0,9533)
Ct_i	0,0030 (0,0000)
T_i	-0,0291 (0,0006)
Observaciones	270
% Aciertos predicc. muestra	63%
Log. Likelihood	-160,6582
ε_{Ct}	0,5695
ε_{Ti}	-0,4139

Entre paréntesis p-valor.

Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

Este trabajo ha analizado el empleo de la intermodalidad del transporte dentro del sector exportador de frutas y hortalizas. Se han aplicado técnicas de decisión multicriterio que buscan la minimización del coste de transporte y el tiempo de tránsito para solucionar el problema de la distribución óptima de mercancías entre la opción terrestre y la intermodal. También, se ha realizado un análisis de sensibilidad que cuantifica los cambios de prioridades que tendrían que producirse en los decisores (exportadores) para motivar un cambio modal. De forma paralela, se han estimado las ponderaciones que, en la actualidad, los exportadores otorgan a las variables de análisis (coste y tiempo).

¹³ La elasticidad del coste en el modelo logit será: $\varepsilon_{Ct} = \beta_{Ct} Ct_i (1 - P_i)$ donde P_i será la probabilidad media de utilización del transporte intermodal para la muestra y β_{Ct} el coeficiente estimado para el coste. La misma fórmula se utiliza para calcular ε_{Ti} .

Como conclusión más relevante, se aprecia que el coste del transporte intermodal es inferior en un 14% al terrestre (en promedio y para las rutas más viables). Sin embargo, el tiempo de tránsito total casi se dobla. Esta situación hace que la opción marítima, hoy por hoy, sea residual en el transporte hortofrutícola.

Los resultados muestran la dificultad que implica el cambio hacia la intermodalidad. Por ejemplo, si partiendo de la situación actual, que supone un uso casi nulo del transporte intermodal, quisiéramos conseguir una cuota de mercado del 42%, el decisor tendría que ponderar el coste 3,7 veces más que el tiempo. Si pretendiésemos alcanzar el 55% de cuota, el ratio de ponderaciones entre los factores sería de 4,9 a favor del coste. El contraste con la realidad muestra que los exportadores ponderan casi de forma idéntica a ambos factores, algo que, como se aprecia, no es suficiente ya que con esta estructura de decisión, según el modelo propuesto, el sistema intermodal rondaría el 5% (situación similar a la real).

Con este marco, el uso de la intermodalidad dependerá de la implantación de acciones que motiven la variación de la percepción del exportador y que favorezcan la propensión al empleo del barco como sistema de transporte; por ejemplo, corrigiendo la mala imagen del TMCD en el servicio puerta-puerta, o el desconocimiento que tienen muchos exportadores de este sistema (Paixao y Marlow, 2001a, 2001b). Tampoco se deben olvidar las estrategias encaminadas al establecimiento de rutas estables que puedan favorecer, de forma simultánea, las reducciones de costes y los tiempos de tránsito; por ejemplo, a través del aumento de la competencia de operadores logísticos y el consiguiente aporte de mejores buques.

Este trabajo realiza una simplificación de las variables que pueden intervenir en la elección entre el sistema terrestre y el intermodal, por lo que será necesario seguir profundizando en la optimización de todas ellas. Con este objetivo, puede ser interesante el diseño de frecuencias adecuadas del tráfico marítimo para evitar aglomeraciones de producción en destino que provoquen una sensación de sobreoferta (y el consiguiente descenso de precios en los mercados)¹⁴. La solución a este problema, y al resto de cuestiones planteadas en este artículo, será decisivo para favorecer el establecimiento de un patrón de transporte sostenible.

7. Bibliografía

- Baird, A. (2004). "Investigating the Feasibility of Fast Sea Transport Services". *Maritime Economics & Logistics*, 6(3):252-269.
- Ballester, E. (1997). "Utility functions: A compromise approach to specification and optimization". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6:11-16.
- Berbel, J. y Rodríguez, A. (1998). "An MCDM approach to production analysis: An application to irrigated farms in Southern Spain". *European Journal of Operational Research*, 107(1):108-118.

¹⁴ Situación que ha llegado a ocurrir por la llegada masiva de buques de tomate marroquí con destino al mercado mayorista de Perpignan.

- Current, J., Min, H. y Schilling, D.A. (1990). "Multiobjective analysis of facility location decisions". *European Journal of Operational Research*, 49(3):295-307.
- Das, S., Goswami, A. y Alam, S. (1999). "Multiobjective transportation problem with interval cost, source and destination parameters". *European Journal of Operational Research*, 117(1):100-112.
- De Pablo, J. y Pérez-Mesa, J.C. (2007). "Notes About the Production and Supply-Demand of Fruit and Vegetables in the Countries of the European Union". *Journal of Food Products Marketing*, 13(3):95-111.
- Dyer, J.S. (1977). "On the relationship between goal programming and multiattribute utility theory". Discussion paper n.º 69. Management Study Center, University of California, Los Angeles.
- Easley, R., Valacich, J. y Venkataramanan, M. (2000). "Capturing group preferences in a multicriteria decisión". *European Journal of Operational Research*, 125 (1):73-83.
- Eleftherios, T. (2001). "An interactive multiobjective model for the strategic maritime transportation of petroleum products: Risk analysis and routing". *Safety Science*, 39(1-2):19-29.
- European Commission (2003). *Communication from the commission –programme for the promotion of short sea shipping*. COM(2003) 155, Brussels.
- European Commission (2004). *Communication from the commission on short sea shipping*. COM(2004) 453, Brussels.
- Eurostat (2005). *External Trade Data*. European Commission.
- Fichtner, J. (1986). "On deriving priority vectors from matrices of pairwise comparisons". *Socio-Economic Planning Science*, 20 (6):341-345.
- Forman, E. y Peniwati, K. (1998). "Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, 108 (1):165-169.
- Gómez-Limón, J. A., Arriaza, M. y Riesgo, L. (2003). "An MCDM analysis of agricultural risk aversion". *European Journal of Operational Research*, 151 (3):569-585.
- Gómez-Limón, J.A. y Berbel, J. (2000). "Multicriterion analysis of derived water demand functions: A Spanish case study". *Agricultural Systems*, 63(1):49-72.
- González, F. y Novo, I. (2007). "Las autopistas del mar en el contexto europeo". *Boletín ICE*, 2902:33-47.
- Hitchcock, F. (1941). "The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities," *Journal of Mathematics and Physics*, 20(3):224-230.
- Kallas, Z., Gómez-Limón, J.A. y Barreiro, J. (2007). "Decomposition of the aggregated value of agricultural multifunctionality: combining contingent valuation and the analytic hierarchy process". *Journal of Agricultural Economics*, 58(1):1-28.
- Kamenetzky, R. (1982). "The relationship between the analytic hierarchy process and the additive value function". *Decision Science*, 13(5):702-713.
- Klose, A. y Drexl, A. (2005). "Facility location models for distribution system design". *European Journal of Operational Research*, 162(1):4-29.
- Li, L. y Lai, K. (2000). "A fuzzy approach to the multiobjective transportation problem". *Computers & Operations Research*, 27(1):43-57.
- Macharis, C. y Bontekoning, Y. M. (2003). "Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review". *European Journal of operational research*, 153(2):400-416.
- McFadden, D. y Train, K. (2000). "Mixed MNL models for discrete response", *Journal of Applied Econometrics*, 15(5):447-470.
- Ministerio de Fomento (2007). *Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera*. Secretaría General de Transportes, Madrid.

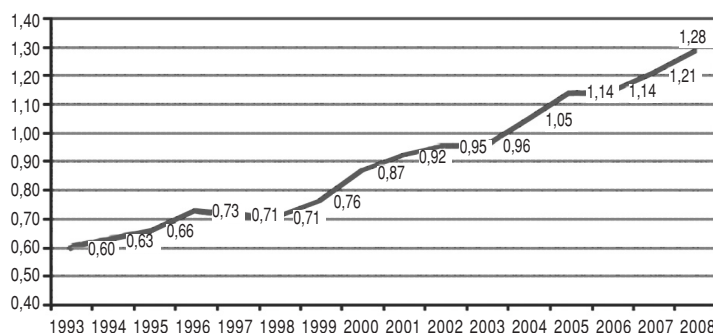
- Morón, M.A., Romero, C. y Ruiz, F. (1996). "Generating Well-Behaved Utility Functions for Compromise Programming". *Journal of Optimization Theory and Application*, 91(3):643-649.
- Musso, E. y Marchese, U. (2002). "Economics of Shortsea Shipping", in Grammenos, C. (ed) *The Handbook of Maritime Economics and Business*. London: Lloyds of London Press, pp. 280-304.
- Napier University (2002). *UKMM - United Kingdom Marine Motorways Study, Future Integrated transport (FIT)*. Link Programme, Department for Transport and Engineering & Physical Science Research Council (EPSRC). Edinburgh.
- Osleeb, J. y Ratick, S. (1983). "A mixed integer and multiple objective programming model to analyze coal handling in New England". *European Journal of Operational Research*, 12(3):302-313.
- Paixao Casaca, A. C. y Marlow, P. B. (2001a). "A review of the European Union Shipping Policy". *Maritime Policy & Management*, 28(2):187-198.
- Paixao Casaca, A. C. y Marlow, P. B. (2001b). "Strengths and weaknesses of short sea shipping". *Marine Policy*, 26(3):167-178.
- Paixao Casaca, A. C. y Marlow, P. B. (2005). "The competitiveness of short sea shipping in multimodal logistics supply chains: Service attributes". *Maritime Policy and Management*, 32(4):363-382.
- Paixao Casaca, A. C. y Marlow, P. B. (2007). "The Impact of the Trans-European transport networks on the development of short sea shipping". *Maritime Economics and Logistics*, 9(4):302-323.
- Pramanik, S. y Roy, T. (2008). "Multiobjective Transportation Model with Fuzzy Parameters: Priority based Fuzzy Goal Programming Approach". *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8(3):40-48.
- Pérez-Mesa, J.C., Céspedes, J. y Salinas, J. (2009). *Metodología para el análisis de viabilidad de una autopista del mar de productos perecederos: Almería-Port vendres (Perpignan-Francia)*. II Premio de Investigación socioeconómica de la provincia de Almería. Fundación Unicaja. Málaga.
- Romero, C., Tamiz, M. y Jones, D.F. (1998). "Goal programming, compromise programming and reference point method formulations: Linkages and utility interpretations". *Journal of the Operational Research Society*, 49(9):986-991.
- Sakalys, A. y Palsaitis, R. (2006). "Development of intermodal transport in new European Union States". *Transport*, 21(2):148-153.
- Sumpsi, J.M., Amador, F. y Romero, C. (1996). "On farmers' objectives: a multicriteria approach". *European Journal of Operational Research*, 96 (1):64-71.
- Tamiz, M., Jones, D. y Romero, C. (1998). "Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art". *European Journal of Operational Research*, 111(3):569-581.
- Saaty, T. (1977). "A scaling method for priorities in hierarchical structures". *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3):234-281.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw, Nueva York.
- Saaty, T. (2001). "The seven pillars of the Analytic Hierarchy Process". En M. Köksalan y S. Zionts (eds.): *Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium*. Heidelberg, Berlin.
- Vedat, V. y Manish, V. (2007). "A Lead-Time based Approach for Planning Rail-Truck Intermodal Transportation of Dangerous Goods". *Sixth Triennial Symposium on Transportation Analysis*, Phuket, Thailand, 10-15 junio.



- Vidal, J.F. (2007). “Autopistas del mar y desarrollo portuario: desde la visión europea al enfoque de la comunidad portuaria”. Documento de trabajo *Shortsea Promotion Center* [en línea] 19/10/2007: <http://www.cep.es/ayudas/Forum/SHORTSEA.pdf>.
- Zahedi, F. (1987). “A utility approach to the Analytic Hierarchy Process”. *Mathematical Modelling*, 9(3-5):387-395.

Anexo 1

Evolución del coste (€/km) de un vehículo frigorífico articulado de 2 ejes cargado (*)



(*) Costes no deflactados.

Fuente: Elaboración propia entre años 1993-1999 con los datos suministrados por el Ministerio de Fomento. Serie 2000-2008 extraída del observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera del Ministerio de Fomento.

Anexo 2

Reparto óptimo según la ponderación: ω (coste) = 1; ω (tiempo) = 0. Costes lineales

Cientes Finales	Port Vendres (1)	Dunkerque (1)	Brujas (1)	Rotterdam (1)	Carretera (2)	Camiones desde Almería	Toneladas desde Almería
Berlín	0	0	0	6.713	0	6.713	134.264
Hamburgo	0	0	0	4.475	0	4.475	89.509
Stuttgart	4.252	0	0	0	0	4.252	85.034
Colonia	0	0	0	2.238	0	2.238	44.755
R. Alemania	4.699	0	0	0	0	4.699	93.985
Perpignan	11.217	0	0	0	0	11.217	224.341
París	3.205	0	0	0	0	3.205	64.097
R.Francia	1.602	0	0	0	0	1.602	32.049
Barendrecht	0	0	0	12.602	0	12.602	252.039
Londres	0	9.250	0	0	0	9.250	184.997
Milán	0	0	0	0	2.391	2.391	47.830
Roma	2.391	0	0	0	0	2.391	47.830
Bruselas	0	0	2.390	0	0	2.390	47.791
Varsovia	2.061	0	0	0	0	2.061	41.223
Praga	1.902	0	0	0	0	1.902	38.032
Centro Europa	2.433	0	0	0	0	2.433	48.660
Estocolmo	0	0	0	1.430	0	1.430	28.595
Copenhague	0	0	0	1.430	0	1.430	28.595
Helsinki	0	0	0	2.303	0	2.303	46.055
Total Camiones	33.763	9.250	2.390	28.888	2.391	76.681	
Total toneladas	675.250	184.997	47.791	577.756	47.830		1.533.624

Este viaje implica el traslado desde el puerto de Almería al puerto de destino más el tránsito terrestre desde el puerto de destino hasta la puerta del cliente final.

Este viaje implica el traslado de la mercancía en camión desde Almería hasta la puerta del cliente final.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3

Reparto óptimo según la ponderación: ω (coste) = 1; ω (tiempo) = 0. Costes potenciales. $\alpha = 0,7$ y $\theta = 19.170$ camiones (1)

Clientes Finales	Port Vendres (1)	Dunkerque (1)	Brujas (1)	Rotterdam (1)	Carretera (2)	Camiones desde Almería	Toneladas desde Almería
Berlín	6.713	0	0	0	0	6.713	134.264
Hamburgo	0	0	0	0	4.475	4.475	89.509
Stuttgart	0	0	0	0	4.252	4.252	85.034
Colonia	0	0	0	0	2.238	2.238	44.755
R. Alemania	4.699	0	0	0	0	4.699	93.985
Perpignan	11.217	0	0	0	0	11.217	224.341
París	0	0	0	0	3.205	3.205	64.097
R.Francia	1.602	0	0	0	0	1.602	32.049
Barendrecht	0	0	0	12.602	0	12.602	252.039
Londres	9.250	0	0	0	0	9.250	184.997
Milán	0	0	0	0	2.391	2.391	47.830
Roma	0	0	0	0	2.391	2.391	47.830
Bruselas	0	0	0	0	2.390	2.390	47.791
Varsovia	2.061	0	0	0	0	2.061	41.223
Praga	0	0	0	0	1.902	1.902	38.032
Centro Europa	0	0	0	0	2.433	2.433	48.660
Estocolmo	0	0	0	0	1.430	1.430	28.595
Copenhague	0	0	0	0	1.430	1.430	28.595
Helsinki	0	0	0	0	2.303	2.303	46.055
Total Camiones	35.543	0	0	12.602	28.536	76.681	
Total toneladas	675.250	184.997	47.791	577.756	47.830		1.533.624

Resultado de dividir 76.681 camiones/4 puertos.

Este viaje implica el traslado desde el puerto de Almería al puerto de destino más el tránsito terrestre desde el puerto de destino hasta la puerta del cliente final.

Este viaje implica el traslado de la mercancía en camión desde Almería hasta la puerta del cliente final.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4

Modelo de encuesta para elaborar la matriz de Saaty

Razón Social:	Volumen Comercializado (t):	Volumen exportado (t):
---------------	-----------------------------	------------------------

Considerando la opción de un transporte intermodal (en contraposición a un viaje por camión) a los siguientes destinos, indique cómo consideraría, *según la escala descrita abajo*, el ahorro del coste con relación al aumento del tiempo de entrega.

	Aumento Tiempo horas	Ahorro Costes Euros/tráiler	Valores según escala Anexa
Berlín	81	540	
Hamburgo	79	810	
Stuttgart	32	205	
Colonia	81	425	
R. Alemania	31	554	
Perpignan	35	190	
París	33	274	
Resto Francia	30	1.324	
Barendrecht	77	1.163	
Londres	64	796	
Roma	75	203	
Bruselas	21	724	
Varsovia	31	2.509	
Praga	28	203	
Centro Euro	78	383	
Estocolmo	80	811	
Copenhague	78	813	
Helsinki	75	812	

ESCALA DE RESPUESTAS

PREFIERE EL TRANSPORTE INTERMODAL

3 = Suficiente para aceptar la intermodalidad
 5 = Fuertemente suficiente
 7 = Muy fuertemente suficiente
 9 = Extremadamente suficiente

PREFIERE EL TRANSPORTE TERRESTRE

1/3 = Ligeramente insuficiente para aceptar la intermodalidad
 1/5 = Fuertemente insuficiente
 1/7 = Muy fuertemente insuficiente
 1/9 = Extremadamente insuficiente

INDIFERENTE

