ANALISIS DE LOS METODOS DE TRANSPORTE EN LA LOCALIZACION DE EMPRESAS Y SU APLICACION EN LA INCERTIDUMBRE

Dunia Durán Juvé
Universidad de Barcelona (España)

RESUMEN

En el presente trabajo se pretende dar una visión general de los métodos más conocidos de resolución del problema del transporte, introduciendo el método del coste mínimo escalonado en situación de certeza, comparándolos entre sí, así como su aplicación en el campo de la incertidumbre, todo ello, mediante un ejemplo práctico.

1.- ANALISIS DE LOS METODOS DE TRANSPORTE TRADICIONALES

Con el crecimiento de los intercambios internacionales, y la distribución geográfica de los mercados, los transportes desempeñan un rol muy importante en la vida de la empresa. Aunque hay empresas que sólo se plantean la localización una vez en su historia, hay otras que, a menudo se tienen que enfrentar a este problema, teniendo en cuenta que contínuamente están cambiando los mercados, los gustos y preferencias de los consumidores, las tecnologías, etc., por esto las decisiones de localización forman parte del proceso estratégico de la empresa, ya que de ello depende, muchas veces, su futuro.

El objetivo fundamental de la localización, es la elección de un lugar en donde se desarrollen las operaciones de la empresa de una manera efectiva, esto implica realizar unas inversiones importantes, de tal modo que si la empresa tiene problemas en el desarrollo de su actividad motivados por una mala ubicación, producirá graves pérdidas a la empresa porque tendrá que desinstalarla y volverse a plantear una nueva ubicación si quiere seguir sus operaciones.

A la hora de tomar la decisión de ubicar la empresa en un lugar u otro, se tienen que tener en cuenta toda una serie de factores y, algunos de ellos, pueden ejercer mayor influencia que otros, porque todos no pueden ser tenidos en cuenta, así hay empresas que se localizan cerca del lugar donde se encuentran las materias primas, otras se localizan cerca del mercado y, finalmente, otras puede que tengan que ubicarse teniendo en cuenta factores que más repercuten sobre el proceso de elaboración del producto. Existen muchos métodos para ayudar a decidir sobre la ubicación idónea, pero en el caso de que la empresa disponga de varias factorías ubicadas en distintos lugares produciendo un único producto y operando en distintos mercados, se plantea la problemática de buscar la distribución óptima con el menor coste de transporte posible. Para ello existen igualmente distintos métodos de transporte y vamos a analizar a continuación algunos de ellos con un ejemplo común para todos.

Supongamos que tenemos tres factorías, que fabrican un solo producto, ubicadas en tres lugares distintos: Soses, El Masnou y Tortosa con 800, 800 y 400 unidades de capacidad de producción, respectivamente, y operan en tres mercados distintos: Barcelona, Tarragona y Lérida, con una capacidad de absorción de 600, 700 y 700 unidades, respectivamente. Los costes unitarios de transporte (expresados en euros) desde cada factoría a cada centro de distribución vienen representados en la siguiente matriz:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA
SOSES	3	6	2
EL MASNOU	2	3	5
TORTOSA	6	4	8

1.1. METODO DE LA ESQUINA NOROESTE

Consiste en enviar la mayor cantidad posible de producción empezando por la parte superior izquierda, es decir, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, independientemente de cual sea el coste unitario de transporte y, teniendo en cuenta el máximo de disponibilidades de cada factoría y la máxima capacidad de absorción de cada uno de los mercados, de la siguiente manera:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 600	6 / 200	2	800
EL MASNOU	2	3 / 500	5 / 300	800
TORTOSA	6	4	8 / 400	400
DEMANDA	600	700	700	2000

A continuación calcularemos el coste total de transporte:

$CT_{11} = 3 . 600 + 6 . 200 + 3 . 500 + 5 . 300 + 8 . 400 = 9.200$ euros (Primera solución básica)

Para saber si esta solución es la mejor y, por tanto, la óptima, tenemos que aplicar el método de Steeping Stone, el cual puede emplearse siempre que el número de casillas ocupadas sea igual a: $m + n - 1$, donde n es el número de filas y m es el número de columnas. Si el número de casillas ocupadas es menor que $m + n - 1$, estamos en presencia de un problema degenerado, que también se podría resolver, pero no es nuestro caso puesto que $3 + 3 - 1 = 5$ (que coincide con el número de casillas ocupadas en la tabla). Por tanto, debemos de ir probando nuevas rutas, de manera que, tomamos una de las casillas que en la tabla está vacía, dejando el resto de casillas que en la primera solución básica también lo están, y ajustando las casillas que en esa tabla están llenas. Probaremos, primero, con una sola unidad calculando el coste total unitario de transporte. En el caso de que nos dé positivo, quiere decir que esa solución es peor que la anterior; si da igual a cero, quiere decir que esa solución es igual a la anterior y, si da negativo quiere decir que la solución es mejor que la anterior. Directamente vamos a hallar el coste total unitario de transporte para cada posible solución:

$CTU_{13} = +2 -5 +3 -6 = - 6$ (Solución mejor que la anterior)

CTU_{21} = +2 -3 +6 -3 = 2 (Solución peor)
CTU_{31} = +6 - 8 +5 -3 +6 -3 = 3 (Solución peor)
CTU_{32} = +4 -8 +5 -3 = - 2 (Solución mejor)

Hay dos mejores soluciones, una es la ruta de Tortosa a Tarragona (ruta$_{32}$), teniendo en cuenta el número de unidades a enviar como máximo, que serían de 400 unidades y el menor coste unitario, que es de -2 euros, no nos proporcionaría tan buen resultado como la otra que es la de Soses a Lérida (ruta$_{13}$), por tanto, vamos a enviar la mayor cantidad posible de producción a esa ruta, que representa un coste menor unitario de -6 euros, ajustando el resto de casillas que en la solución anterior estaban llenas, y en este caso, podremos enviar a esa ruta sólo 200 unidades porque nos vemos limitados por la ruta de Soses a Tarragona (ruta$_{12}$):

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 600	6	2 / 200	800
EL MASNOU	2	3 / 700	5 / 100	800
TORTOSA	6	4	8 / 400	400
DEMANDA	600	700	700	2000

Volvemos a calcular el coste total de transporte, que es el siguiente:
CT_{13} = 3 . 600 + 2 . 200 + 3 . 700 + 5 . 100 + 8 . 400 = 8.000 euros (Segunda solución básica)
Volviendo a repetir el proceso anterior, para una sola unidad tendremos:
CTU_{12} = +6 -2 +5 -3 = 6 (Solución peor que la anterior)
CTU_{21} = +2 -5 +2 -3 = - 4 (Solución mejor)
CTU_{31} = +6 -8 +2 -3 = - 3 (Solución mejor)
CTU_{32} = +4 -8 +5 -3 = - 2 (Solución mejor)

Vemos que hay tres mejores soluciones, debemos enviar el máximo de unidades posibles a esas rutas, a la de El Masnou a Barcelona (ruta$_{21}$), en la que sólo podemos enviar 100 unidades, a la ruta de Tortosa a Barcelona (ruta$_{31}$) 400 unidades, al igual que a la ruta de Tortosa a Tarragona (ruta$_{32}$), pero de todas ellas la mejor es la ruta de Tortosa a Barcelona (ruta$_{31}$), que, en este caso, enviaremos 400 unidades porque nos vemos limitados por la ruta de Tortosa a Lérida (ruta$_{33}$), aunque el menor coste unitario sea de -3 euros, por tanto, tendremos:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 200	6	2 / 600	800
EL MASNOU	2	3 / 700	5 / 100	800
TORTOSA	6 / 400	4	8	400
DEMANDA	600	700	700	2000

Calculando el coste total:
CT_{31} = 3 . 200 + 2 . 600 + 3 . 700 + 5 . 100 + 6 . 400 = 6.800 euros (Tercera solución básica)
Volviendo a repetir el proceso, tendremos:
CTU_{12} = +6 -2 +5 -3 = 6 (Solución peor que la anterior)
CTU_{21} = +2 -5 +2 -3 = - 4 (Solución mejor)
CTU_{32} = +4 -6 +3 -2 +5 -3 = 1 (Solución peor)
CTU_{33} = +8 -2 +3 -6 = 3 (Solución peor)

La solución mejor es la ruta de El Masnou a Barcelona (ruta$_{21}$), por lo que enviaremos el máximo de unidades posibles a esa ruta, que serán de 100 unidades porque nos vemos limitados por la ruta de El Masnou a Lérida (ruta$_{23}$), y tendremos:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 100	6	2 / 700	800
EL MASNOU	2 / 100	3 / 700	5	800
TORTOSA	6 / 400	4	8	400
DEMANDA	600	700	700	2000

El coste total de transporte será de:
CT_{21} = 3. 100 + 2 . 700 + 2 . 100 + 3 . 700 + 6 . 400 = 6.400 euros (cuarta solución básica)
Repitiendo el proceso anterior:
CTU_{12}= +6 -3 +2 -3 = 2 (Solución peor que la anterior)
CTU_{23} = +5 -2 +3 -2 = 4 (Solución peor)
CTU_{32} = +4 -3 +2 -6 = - 3 (Solución mejor)

CTU_{33} = +8 -2 +3 -6 = 3 (Solución peor)

Por tanto enviaremos a la ruta de Tortosa a Tarragona ($ruta_{32}$) el mayor número de unidades, que en este caso será de 400, puesto que nos vemos limitados por la ruta de Tortosa a Barcelona ($ruta_{31}$), de manera que la nueva tabla queda de la siguiente forma:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 100	6	2 / 700	800
EL MASNOU	2 / 500	3 / 300	5	800
TORTOSA	6	4 / 400	8	400
DEMANDA	600	700	700	2000

El Coste total de transporte es:

CT_{32} = 3 . 100 + 2 . 700 + 2 . 500 + 3 . 300 + 4 . 400 = 5.200 euros (Quinta solución básica)

Volviendo a probar con una sola unidad para encontrar una solución mejor, tendremos:

CTU_{12}= +6 -3 +2 -3 = 2 (Solución peor que la anterior)

CTU_{23} = +5 -2 +3 -2 = 4 (Solución peor)

CTU_{31} = +6 -4 +3 -2 = 3 (Solución peor)

CTU_{33} = +8 -4 +3 -2 +3 -2 = 6 (Solución peor)

Con lo cual no existe ninguna solución mejor que la quinta solución básica, por tanto, la solución óptima es la última que hemos indicado en la tabla, representando un coste total de transporte de 5.200 euros.

1.2. METODO DEL COSTE MINIMO

Consiste en detectar la ruta de menor coste, pero realizándolo por filas, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, siguiendo con el ejemplo anterior obtendremos la primera solución básica:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3	6 / 100	2 / 700	800
EL MASNOU	2 / 600	3 / 200	5	800
TORTOSA	6	4 / 400	8	400
DEMANDA	600	700	700	2000

El Coste total de transporte es:

CT_{13} = 6 . 100 + 2 . 700 + 2 . 600 + 3 . 200 + 4 . 400 = 5.400 euros (Primera solución básica)

Para saber si esta solución es la mejor y, por tanto, la óptima, tenemos que aplicar igualmente el método de Steeping Stone,, que, en este caso, también puede aplicarse ya que m + n - 1 es igual al número de casillas ocupadas, es decir, 3 + 3 - 1 = 5 (tal como muestra la tabla).

Por tanto, también debemos de ir probando nuevas rutas, primero, con una sola unidad, calculando el coste total unitario de transporte. Recordemos que en el caso de que nos dé positivo, quiere decir que esa solución es peor que la anterior; si da igual a cero, quiere decir que esa solución es igual a la anterior y, si da negativo quiere decir que la solución es mejor que la anterior. Directamente vamos a hallar el coste total unitario de transporte para cada posible solución:

CTU_{11} = +3 -6 +3 -2 = - 2 (Solución mejor que la anterior)

CTU_{23} = +5 -2 +6 -3 = 6 (Solución peor)

CTU_{31} = +6 - 4 +3 -2 = 3 (Solución peor)

CTU_{33} = +8 -2 +6 -4 = 8 (Solución peor)

La mejor solución es la ruta de Soses a Barcelona ($ruta_{11}$) y, podemos enviar como máximo 100 unidades porque nos vemos limitados por la ruta de Soses a Tarragona ($ruta_{12}$), así que la nueva tabla queda de la siguiente forma:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 100	6	2 / 700	800
EL MASNOU	2 / 500	3 / 300	5	800
TORTOSA	6	4 / 400	8	400
DEMANDA	600	700	700	2000

Por tanto, el coste total de transporte es:

CT_{11} = 3 . 100 + 2 . 700 + 2 . 500 + 3 . 300 + 4 . 400 = 5.200 euros (Segunda solución básica)

A continuación operaremos como en el método anterior:

CTU_{12}= +6 -3 +2 -3 = 2 (Solución peor que la anterior)

CTU_{23} = +5 -2 +3 -2 = 4 (Solución peor)
CTU_{31} = +6 -4 +3 -2 = 3 (Solución peor)
CTU_{33} = +8 -4 +3 -2 +3 -2 = 6 (Solución peor)

Vemos que no existe ninguna solución mejor que la segunda solución básica, por lo que la solución óptima es la última que hemos indicado en la tabla, representando un coste total de transporte de 5.200 euros, al igual que la solución óptima del método anterior, pero observamos que este método es más rápido.

1.3. METODO DEL COSTE MINIMO ESCALONADO

Este método toma como base el método anterior, pero, en vez de considerar como primera solución básica el coste mínimo de izquierda a derecha, busca el coste mínimo, también por filas, pero bien de izquierda a derecha o bien de derecha a izquierda, dependiendo de dónde se encuentre el coste mínimo, de manera que vamos llenando el resto de las casillas en función de los costes unitarios inmediatamente superiores (de ahí el nombre de escalonado), tal como se muestra en la siguiente tabla:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	3 / 100	6	2 / 700	800
EL MASNOU	2 / 500	3 / 300	5	800
TORTOSA	6	4 / 400	8	400
DEMANDA	600	700	700	2000

Por tanto, el coste total de transporte es:
CT_{13} = 3 . 100 + 2 . 700 + 2 . 500 + 3 . 300 + 4 . 400 = 5.200 euros (Primera solución básica)
A continuación operaremos como en los métodos anteriores:
CTU_{12}= +6 -3 +2 -3 = 2 (Solución peor que la anterior)
CTU_{23} = +5 -2 +3 -2 = 4 (Solución peor)
CTU_{31} = +6 -4 +3 -2 = 3 (Solución peor)
CTU_{33} = +8 -4 +3 -2 +3 -2 = 6 (Solución peor)

Vemos que no existe ninguna solución mejor que esta primera solución básica, por lo que es, además, la solución óptima, representando un coste total de transporte de 5.200 euros.

Observamos que, con este método, se puede llegar a obtener la solución óptima más rápidamente que con los métodos anteriores.

2. APLICACION DEL METODO DEL COSTE MINIMO ESCALONADO EN SITUACION DE INCERTEZA

Vamos a considerar el supuesto de que estamos en una situación de incerteza, con lo cual, los costes unitarios de transporte son borrosos. Podemos considerar los costes unitarios en forma de intervalos de confianza, en forma de números borrosos triangulares o en forma de cuádruples de confianza. Considerémoslos en forma de intervalos de confianza aplicando el método del coste mínimo escalonado utilizando el mismo ejemplo que hemos estudiado en situación de certeza, aunque, obviamente, los costes unitarios de transporte serán distintos.

Supongamos, como en la situación anterior que tenemos tres factorías, que fabrican un solo producto, ubicadas en tres lugares distintos: Soses, El Masnou y Tortosa con 800, 800 y 400 unidades de capacidad de producción, respectivamente y, operan en tres mercados distintos: Barcelona, Tarragona y Lérida con una capacidad de absorción de 600, 700 y 700 unidades, respectivamente; los costes unitarios de transporte (expresados en euros) y, en forma de intervalos de confianza, desde cada factoría a cada centro de distribución vienen representados en la siguiente matriz:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA
SOSES	[2, 4]	[3, 6]	[2, 3]
EL MASNOU	[1, 3]	[3, 5]	[4, 7]
TORTOSA	[5, 8]	[2, 4]	[3, 6]

Para aplicar el método indicado, utilizando los intervalos de confianza en los que el coste unitario está entre dos extremos, el inferior y el superior, debemos de calcular las medias de dichos intervalos, a fin de empezar a enviar el mayor número de unidades de producción desde cada factoría hasta cada centro de mercado:

$$\overline{\varepsilon}_{11} = \frac{2+4}{2} = 3 \qquad \overline{\varepsilon}_{21} = \frac{1+3}{2} = 2 \qquad \overline{\varepsilon}_{31} = \frac{5+8}{2} = 6\text{'}5$$

$$\overline{\varepsilon}_{12} = \frac{3+6}{2} = 4\text{'}5 \qquad \overline{\varepsilon}_{22} = \frac{3+5}{2} = 4 \qquad \overline{\varepsilon}_{32} = \frac{2+4}{2} = 3$$

$$\overline{\varepsilon}_{13} = \frac{2+3}{2} = 2\text{'}5 \qquad \overline{\varepsilon}_{23} = \frac{4+7}{2} = 5\text{'}5 \qquad \overline{\varepsilon}_{33} = \frac{3+6}{2} = 4\text{'}5$$

De la fila uno, vemos que el menor coste unitario de transporte es la ruta de Soses a Lérida ($ruta_{13}$) y a continuación la ruta de Soses a Barcelona ($ruta_{11}$) y, por último la ruta de Soses a Tarragona ($ruta_{12}$), con lo cual enviaremos, la mayor cantidad posible de producción siguiendo ese orden que será de 700, 100 y 0 unidades, respectivamente. En la segunda fila, el menor coste es la ruta de El Masnou a Barcelona ($ruta_{21}$), luego la ruta de El Masnou a Tarragona ($ruta_{22}$) y, por último, la ruta de El Masnou a Lérida($ruta_{23}$), con lo cual enviaremos 500, 300 y 0 unidades, respectivamente. Finalmente, en la tercera fila, el menor coste unitario corresponde a la ruta de Tortosa a Tarragona ($ruta_{32}$), en segundo lugar, la ruta de Tortosa a Lérida ($ruta_{33}$) y, por último la ruta de Tortosa a Barcelona ($ruta_{31}$), por lo que enviaremos 400, 0 y 0 unidades, respectivamente, tal como muestra la siguiente tabla:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	[2, 4] / 100	[3, 6]	[2, 3] / 700	800
EL MASNOU	[1, 3] / 500	[3, 5] / 300	[4, 7]	800
TORTOSA	[5, 8]	[2, 4] / 400	[3, 6]	400
DEMANDA	600	700	700	2000

Por tanto, el coste total de transporte es:

$\underset{\sim}{Z} = (100) . [2, 4] + (700) . [2, 3] + (500) . [1, 3] + (300) . [3, 5] + (400) . [2, 4] = [200, 400] +$

$[1400, 2100] + [500, 1500] + [900, 1500] + [800, 1600] = [3800, 7100]$ (Primera solución básica)

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{13} = \frac{3800 + 7100}{2} = 5.450 \text{ euros}$$

Para buscar una nueva solución, como en situación de certeza, debemos aplicar el método de Steeping Stone, pero en vez de probar con una unidad, directamente lo realizaremos enviando el mayor número de unidades a cada ruta, de la siguiente forma:

$\underset{\sim}{Z}_{12} = (100) . [3, 6] + (700) . [2, 3] + (600) . [1, 3] + (200) . [3, 5] + (400) . [2, 4] = [300, 600] +$

$[1400, 2100] + [600, 1800] + [600, 1000] + [800, 1600] = [3700, 7100]$

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{12} = \frac{3700 + 7100}{2} = 5.400 \text{ euros (Solución mejor que la anterior)}$$

$\underset{\sim}{Z}_{23} = (600) . [2, 4] + (200) . [2, 3] + (300) . [3, 5] + (500) . [4, 7] + (400) . [2, 4] = [1200, 2400] +$

$[400, 600] + [900, 1500] + [2000, 3500] + [800, 1600] = [5300, 9600]$

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{23} = \frac{5300 + 9600}{2} = 7.450 \text{ euros (Solución peor)}$$

$\underset{\sim}{Z}_{31} = (100) . [2, 4] + (700) . [2, 3] + (100) . [1, 3] + (700) . [3, 5] + (400) . [5, 8] = [200, 400] +$

$[1400, 2100] + [100, 300] + [2100, 3500] + [2000, 3200] = [5800, 9500]$

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{31} = \frac{5800 + 9500}{2} = 7.650 \text{ euros (Solución peor)}$$

$\underset{\sim}{Z}_{33} = (500) . [2, 4] + (300) . [2, 3] + (100) . [1, 3] + (700) . [3, 5] + (400) . [3, 6] = [1000, 2000] +$

$[600, 900] + [100, 300] + [2100, 3500] + [1200, 2400] = [5000, 9100]$

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{33} = \frac{5000 + 9100}{2} = 7.050 \text{ euros (Solución peor)}$$

Por tanto, la segunda solución básica es la ruta de Soses a Tarragona ($ruta_{12}$) con un coste total de transporte de 5.400 euros, la tabla queda de la siguiente forma:

	BARCELONA	TARRAGONA	LERIDA	CAPACIDAD
SOSES	[2, 4]	[3, 6] / 100	[2, 3] / 700	800
EL MASNOU	[1, 3] / 600	[3, 5] / 200	[4, 7]	800
TORTOSA	[5, 8]	[2, 4] / 400	[3, 6]	400
DEMANDA	600	700	700	2000

Volviendo a repetir el proceso para buscar una solución mejor tendremos:

$\underset{\sim}{Z}_{11} = (100) . [2, 4] + (700) . [2, 3] + (500) . [1, 3] + (300) . [3, 5] + (400) . [2, 4] = [200, 400] +$

[1400, 2100] + [500, 1500] + [900, 1500] + [800, 1600] = [3800, 7100]

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{11} = \frac{3800 + 7100}{2} = 5.450 \text{ euros (Solución peor)}$$

$\underset{\sim}{Z}_{23}$ = (300) . [3, 6] + (500) . [2, 3] + (600) . [1, 3] + (200) . [4, 7] + (400) . [2, 4] = [900, 1800] +

[1000, 1500] + [600, 1800] + [800, 1400] + [800, 1600] = [4100, 8100]

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{23} = \frac{4100 + 8100}{2} = 6.100 \text{ euros (Solución peor)}$$

$\underset{\sim}{Z}_{31}$ = (100) . [3, 6] + (700) . [2, 3] + (200) . [1, 3] + (600) . [3, 5] + (400) . [5, 8] = [300, 600] +

[1400, 2100] + [200, 600] + [1800, 3000] + [2000, 3200] = [5700, 9500]

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{31} = \frac{5700 + 9500}{2} = 7.600 \text{ euros (Solución peor)}$$

$\underset{\sim}{Z}_{33}$ = (500) . [3, 6] + (300) . [2, 3] + (600) . [1, 3] + (200) . [3, 5] + (400) . [3, 6] = [1500, 3000] +

[600, 900] + [600, 1800] + [600, 1000] + [1200, 2400] = [4500, 9100]

Calculando la media, obtenemos el siguiente resultado:

$$\bar{\xi}_{33} = \frac{4500 + 9100}{2} = 6.800 \text{ euros (Solución peor)}$$

Como hemos observado, no existe ninguna solución mejor, con lo que la segunda solución básica es la óptima con un coste total de transporte de 5.400 euros.

3. CONCLUSIONES

1.- El coste mínimo escalonado es un método alternativo a los otros métodos clásicos para la resolución del problema del transporte.

2.- El método del coste mínimo escalonado permite llegar, casi siempre, a la solución óptima más rápidamente que con el método de la esquina noroeste y, en muchos casos, que con el del coste mínimo.

3.- En situación de incerteza, utilizando las técnicas borrosas, para aplicar el método del coste mínimo y el coste mínimo escalonado, así como el de Houthakker, es necesario, previamente calcular la media de los intervalos de confianza o números borrosos triangulares o cuádruples de confianza, con el fin de conocer cuál es la media del coste mínimo unitario de cada ruta y poder empezar a aplicar dichos métodos, no así para el método de la esquina noroeste, cuyo desarrollo no tiene en cuenta la ruta de menor coste unitario de transporte.

4. BIBLIOGRAFIA

ARBONES, E. A. (1990): *Logística empresarial.* Barcelona: Ed. Marcombo.

BUENO CAMPOS, E., CRUZ ROCHE, I., DURAN HERRERA, J. (1991): *Economía de la Empresa: Análisis de las decisiones empresariales.* Madrid: Ed. Pirámide.

DOMINGUEZ MACHUCA, J.A. (1995): *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios.* Madrid: Ed. McGraw-Hill Interamericana de España.

KAUFMANN, A. y GIL ALUJA, J. (1986): *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas.* Santiago de Compostela: Ed. Milladoiro.

KAUFMANN, A. y GIL ALUJA, J. (1988): *Modelos para la investigación de efectos olvidados.* Vigo: Ed. Milladoiro.

SORET LOS SANTOS, I. (1994): *Logística comercial y empresarial.* Madrid: Ed. Esic.

TARRAGÓ SABATE, F. (1989): *Fundamentos de Economía de la Empresa.* Barcelona: Ed. Hispano Americana.