

2.4 Métodos para la evaluación de opciones de localización

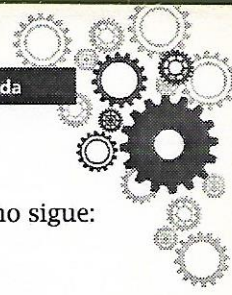
Existen diversos métodos que ayudan a analizar y seleccionar la mejor alternativa del área donde debe establecerse la planta de producción, entre los cuales se pueden señalar:

- Método del análisis dimensional
- Método del transporte
- Método cualitativo por puntos
- Método de la medida de preferencia de localización

A. Método del análisis dimensional

Consiste en comparar las opciones de localización de dos en dos y sistemáticamente eliminar una de las dos, mediante el análisis de un índice de comparación que se calcula para el efecto.

- Procedimiento: Los pasos del método son:
 1. Determinar los factores locacionales que se utilizarán para comparar las alternativas consideradas.
 2. Definir el modo de cómo se va a medir cada factor: con puntos o con unidades monetarias (\$). Si son unidades monetarias, se asignarán estas a las dos opciones en comparación. Si se decide aplicar puntos, se debe definir una escala (de cero a diez, por ejemplo) que permita expresar la posición relativa de una opción de localización con respecto a la otra. Se asigna un puntaje menor a la mejor opción.
 3. Establecer un orden de prioridad a los factores locacionales, mediante una ponderación apropiada. Este paso es, hasta cierto punto, subjetivo, por lo que se recomienda su ejecución por la totalidad del grupo encargado del estudio del proyecto. Se sugiere priorizar los factores locacionales mediante puntos, en una escala independiente del 1 a 10.



4. Calcular el «índice de comparación», el cual se define como sigue:

$$I_{AB} = \prod_{k=1}^m \left[\frac{C_{AK}}{C_{BK}} \right]^{P_k}$$

Donde:

$\prod_{k=1}^m$: Productorio

I_{AB} : Índice de comparación de las localizaciones A y B

C_{ik} : Unidades monetarias o puntos correspondientes a la localización i en relación con el factor locacional k

$k = 1, 2, 3, \dots m$: m es el número de factores locacionales identificados para la evaluación

$i = A, B, C, \dots n$: n es el número de opciones de localización

P_k : Ponderación relativa del factor k , asignada a su prioridad

• Criterios de evaluación:

$I_{AB} > 1$: La localización de B es mejor que la de A

$I_{AB} < 1$: La localización de A es mejor que la de B

$I_{AB} = 1$: Ambas localizaciones son indiferentes

Ejemplo 5

Para cada una de las tres opciones de localización de un proyecto, y con miras a efectuar un análisis dimensional que permita determinar la mejor localización, se obtuvo la información que muestra la tabla 4.4.

Se pide ordenar en orden preferencial las tres alternativas de localización.

Tabla 4.4 Valor de los factores locacionales

Factor locacional	Unidad de medida	Opción de localización			Factor de prioridad
		A	B	C	
Costo del terreno	Unidades monetarias*	2,5	3,1	1,9	2
Comunicaciones	Puntos	5	2	4	3
Transporte	Puntos	6	4	2	5
Servicios públicos	Unidades monetarias	6,3	8,2	9,5	1
Materia prima	Unidades monetarias	10,3	6,4	8,1	3
Mano de obra	Puntos	2	8	5	4
Clima	Puntos	9	3	7	2
Costo adecuación	Unidades monetarias*	12,0	11,5	14,0	2

(*) En miles de dólares

Solución:

Comparación de A y B:

$$I_{AB} = \left[\frac{2.5}{3.1} \right]^2 \left[\frac{5}{2} \right]^3 \left[\frac{6}{4} \right]^5 \left[\frac{6.3}{8.2} \right]^1 \left[\frac{10.3}{6.4} \right]^3 \left[\frac{2}{8} \right]^4 \left[\frac{9}{3} \right]^2 \left[\frac{12.0}{11.5} \right]^2$$

 $I_{AB} = 9.46$. La localización de B es mejor que la de A.

Comparación de B y C:

$$I_{BC} = \left[\frac{3.1}{1.9} \right]^2 \left[\frac{2}{4} \right]^3 \left[\frac{4}{2} \right]^5 \left[\frac{8.2}{9.5} \right]^1 \left[\frac{6.4}{8.1} \right]^3 \left[\frac{8}{5} \right]^4 \left[\frac{3}{7} \right]^2 \left[\frac{11.5}{14} \right]^2$$

 $I_{BC} = 3.68$. La localización de C es mejor que la de B.

Comparación de A y C:

$$I_{AC} = \left[\frac{2.5}{1.9} \right]^2 \left[\frac{5}{4} \right]^3 \left[\frac{6}{2} \right]^5 \left[\frac{6.3}{9.5} \right]^1 \left[\frac{10.3}{8.1} \right]^3 \left[\frac{2}{5} \right]^4 \left[\frac{9}{7} \right]^2 \left[\frac{12.0}{14} \right]^2$$

$I_{AC} = 34.84$. La localización de C es mejor que la de A.

Los resultados anteriores conducen al siguiente orden preferencial: C, B, A.

B. Método de transporte

Es un algoritmo clásico dentro de la programación lineal. Se basa en el cálculo del costo mínimo de transportar una serie de productos desde sus fábricas hasta sus almacenes o distribuidores.

Se considera un número determinado de fábricas y un número determinado de almacenes. El método determina la capacidad de cada fábrica y cada distribuidor para que el costo de transporte sea mínimo.

Cada transporte entre una determinada fábrica y un distribuidor tiene un costo particular que estará en función de la distancia, el tipo de carretera, la cantidad a transportar y otras variables.

El método se basa en una función para encontrar el mínimo costo, fundamentado en dos variables:

- El costo unitario de transporte entre cada fábrica y cada distribuidor.
- La cantidad transportada de cada fábrica a cada distribuidor.

Así, la función que se tiene que minimizar es:

$$\text{Función objetivo} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} C_{ij}$$

Donde:

- n : Número de fábricas (plantas productoras)
- m : Número de distribuidores (plantas acopiadoras)
- i : Subíndice que define a cada fábrica

j : Subíndice que define a cada distribuidor

X_{ij} : Cantidad de productos que se transportarán desde la fábrica y hacia el distribuidor j

C_{ij} : Costo unitario por producto del transporte de la fábrica hacia el distribuidor j

Este programa lineal está sujeto a las siguientes restricciones:

- La demanda de los distribuidores
- La oferta de las fábricas \geq capacidad utilizada
- $X_{ij} > 0$ y enteros
- $C_{ij} > 0$

Ejemplo 6

Una empresa produce caramelos y tiene tres fábricas (A, B y C) y cuatro distribuidores. Cada una de las fábricas tiene que enviar sus productos a los distribuidores de tal forma que se minimice el costo de transporte de toda la empresa.

La oferta (capacidad) de las tres fábricas A, B y C es 300, 400 y 350, respectivamente.

La demanda (pedido) de los cuatro distribuidores es 250, 265, 300 y 200, respectivamente (ver figura 4.13).

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Función para minimizar el costo de transporte						0 miles de soles		
2	Matriz de cálculo de los volúmenes de producción de una fábrica a un distribuidor								
3	(miles de unidades por día)								
	Distribuidor								
		1	2	3	4	Capacidad	Capacidad utilizada		
4	Fábricas	A				300	0		
5		B				400	0		
6		C				350	0		
7		Pedido	250	265	300	200			
8		Entregado	0	0	0	0			
9									
10									

Figura 4.13 Matriz de cálculo de volúmenes de producción vacía

La matriz de costos unitarios de transporte se muestra en la figura 4.14.

	A	B	C	D	E	F	G
11	Matriz de costos unitarios de transporte entre una fábrica y un distribuidor (soles por unidad)						
12		Distribuidor					
13		1	2	3	4		
14	Fábricas	A	14.34	12.85	8.46	7.01	
15		B	17.22	10.82	12.63	4.08	
16		C	20.09	11.48	5.74	16.61	

Figura 4.14 Matriz de costos unitarios de transporte

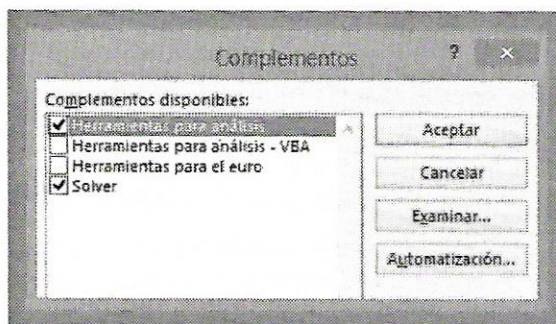
Solución:

1. Calcule el costo total de transporte de cada fábrica y súmelos en la celda F1. Para cada fábrica use la función SUMAPRODUCTO de la siguiente manera:

- El costo de la fábrica A: =SUMAPRODUCTO(C5:F5,C14:F14)
- El costo de la fábrica B: =SUMAPRODUCTO(C6:F6,C15:F15)
- El costo de la fábrica C: =SUMAPRODUCTO(C7:F7,C16:F16)

2. Para la solución se usará el complemento Solver de Excel.

Verifique que la opción Solver esté activada, haga clic en ARCHIVO > Opciones > Complementos > Administrar complementos > Ir.



3. Haga clic en DATOS > Análisis > Solver.

4. En la ventana que aparece, establezca los valores indicados en la figura 4.15. Primero se debe establecer el objetivo. En este caso, que el valor de la celda F1 sea mínimo.
5. Luego, establezca las celdas cambiantes que van a ser el resultado de este análisis. En este ejemplo, el rango de celdas es: C5:F7.
6. Para ingresar las restricciones, debe hacer clic en el botón Agregar.
7. La primera restricción es que los valores a transportar sean enteros. Ingrese la restricción y haga clic en Aceptar.



8. De igual modo, ingrese la segunda restricción: Entregado \geq Pedido. Agregue:
 - C9:F9 \geq C8:F8
9. La tercera restricción es: Capacidad \geq Capacidad utilizada. Agregue:
 - G5:G7 \geq H5:H7
10. La ventana debe quedar configurada como se muestra en la figura 4.15.

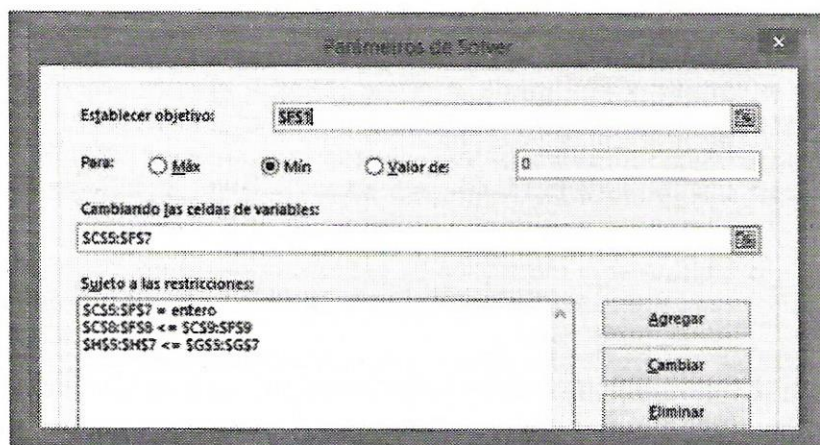


Figura 4.15 Configuración de los parámetros de Solver.

11. Finalmente, haga clic en Resolver.

C. Método cualitativo por puntos

Consiste en asignar valores ponderados a los factores que se consideran relevantes para la localización de las instalaciones donde serán fabricados los productos o prestados los servicios contemplados en el proyecto. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios.

- **Factores relevantes:** Es importante que se consideren los factores estratégicos que más convengan al proyecto y la empresa. Esos factores se refieren básicamente a las posibilidades de crecimiento de la demanda, de agotamiento de las materias primas y de incremento de la infraestructura que beneficie u obstaculice la viabilidad del proyecto.
- **Procedimiento:** Se sugiere aplicar el siguiente procedimiento para jerarquizar los factores cualitativos:
 1. Listar los factores relevantes que determinan la localización.
 2. Asignar un peso, expresado en porcentajes o en decimales a cada factor, para indicar su importancia relativa. El peso está determinado por la importancia que tiene cada factor según el criterio del investigador en ese proyecto específico. La suma de las ponderaciones de todos los elementos debe dar un total de 1.00 si es en decimales, y de 100 % en el caso de que sea en porcentajes.

3. Asignar una escala de calificación a cada factor. Por ejemplo, de 0 a 10 o de 0 a 5.
4. Proponer diferentes alternativas para la localización de la planta del proyecto de inversión.
5. Calificar cada factor relevante de acuerdo con la escala designada en el punto 3.
6. Multiplicar la calificación de cada factor por el peso asignado de cada alternativa de localización para así poder obtener una calificación ponderada.
7. Sumar la puntuación de cada alternativa para lograr la puntuación final.
8. Elegir la alternativa con mayor puntuación.

Ejemplo 7

A partir de los datos mostrados en la tabla 4.5 hay que elegir entre los sitios A y B. En este caso, MP (materia prima) y MO (mano de obra) son los factores que mayor peso o importancia tienen en la localización.

Tabla 4.5 Ejemplo de matriz de ponderación de puntos de aspectos cualitativos

Factores relevantes	Peso asignado	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Cercanía del mercado	0.15	8.0	1.20	9.5	1.42
Suma	1.00	Puntuación final	6.45	Puntuación final	6.97

En este ejemplo, se escogería la alternativa B por tener la mayor puntuación ponderada. Sin embargo, las dos alternativas presentan casi el mismo resultado, por lo que la decisión dependerá finalmente del jefe del proyecto de inversión.

- **Ventajas y desventajas:** La ventaja de este método es que es sencillo y rápido, sin embargo, su principal desventaja es que tanto el peso asignado como la calificación otorgada a cada factor relevante dependen exclusivamente de las preferencias del investigador y, por lo tanto, podrían no ser reproducibles.



D. Método de la medida de preferencia de localización (MPL)

En este método, sugerido por P. A. Brown y D. F. Gibson, se combinan los factores locacionales objetivos y subjetivos correspondientes a aquellas opciones de localización que satisfacen los requisitos mínimos exigidos para la localización del proyecto, a través de una medida de preferencia de localización MPL.

- Procedimiento: Los pasos del método son:
 1. Identificar los factores locacionales «objetivos» que sean cuantificables, normalmente en términos de costo, y los factores locacionales «subjetivos» que puedan ser medidos en términos relativos.
 2. Calcular el costo asociado con cada factor locacional objetivo, para cada opción de localización, y el costo total de dichos factores por localización (C_j)
 3. Asignar un valor objetivo (VO_j) a cada opción de localización, utilizando para ello la siguiente expresión:

$$VO_j = \left[C_j \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{C_i} \right) \right]^{-1}$$

4. Estimar una calificación (P_j) para cada factor locacional subjetivo ($j = 1, 2, 3, \dots, m$), denominada «índice de importancia relativa».

m : número de factores locacionales subjetivos identificados.

Para el efecto, se hace comparaciones pareadas de dos factores, asignando en la columna de comparaciones pareadas el valor 1 al valor preferido y 0 al otro. Si ambos tienen similar preferencia, entonces a cada uno se le asigna el valor 1.

Al terminar lo anterior, se calcula para cada factor la correspondiente suma de preferencias, a partir de la cual se obtiene el índice de importancia relativa:

$$P_j = \frac{\text{Suma de preferencias del factor } j}{\sum_{j=1}^m \text{Suma de preferencias del factor } j}$$

$$\sum_{j=1}^m P_j = 1$$

5. Establecer la ordenación jerárquica de las opciones de localización en función de cada factor locacional subjetivo, mediante el cálculo del indicador S_{ij} . Para el efecto, aquí también se hace comparaciones pareadas de dos opciones de localización, asignando en la columna de comparaciones pareadas el valor 1 a la opción con mejor condición, de acuerdo con el factor locacional subjetivo considerado, y 0 a la otra. Si en ambas se presentan las mismas condiciones, entonces a cada una se le asigna el valor 1.

A continuación, se calcula para cada opción de localización su correspondiente suma de preferencias, teniendo en cuenta el factor locacional j , a partir del cual se obtiene el indicador S_{ij} :

$$S_{ij} = \frac{\text{Suma de preferencias de la opción } i}{\sum_{j=1}^m \text{Suma de preferencias de la opción } i}$$

Donde:

$i: 1, 2, 3, \dots, n$

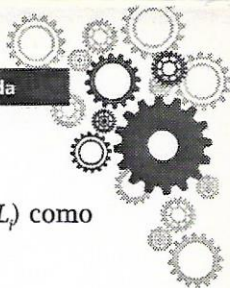
$j: 1, 2, 3, \dots, m$

$0 \leq S_{ij} \leq 1$

$$\sum_{i=1}^n S_{ij} = 1$$

6. Asignar a cada opción de localización un valor subjetivo (VS) mediante la aplicación de la expresión:

$$VS_i = \sum_{j=1}^m S_{ij} P_j$$



7. Determinar la medida de preferencia de localización (MPL_i) como sigue:

$$MPL_i = k(VO_i) + (1 - k)(VS_i)$$

Donde k depende de la importancia relativa que existe entre los factores locacionales objetivos y los factores locacionales subjetivos.

8. Ordenar preferencialmente las opciones de localización, dando el primer lugar a la que presente el mayor valor en la medida de preferencia de localización MPL .

Ejemplo 8

En el estudio de un proyecto se han identificado cuatro opciones de localización, cada una de las cuales satisface las condiciones mínimas exigidas. Los factores locacionales considerados son:

- **Objetivos:** mano de obra, materias primas, transporte, servicios y otros (administración, distribución, impuestos, etc.).
- **Subjetivos:** condiciones de vida, facilidades de distribución, clima, condiciones sociales y culturales.

Para las distintas opciones de localización, el costo de cada uno de los factores locacionales objetivos se presenta en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Costo de los factores locacionales objetivos (en miles de dólares)

Localización	Mano de obra	Materias primas	Transporte	Servicios	Otros	Total
A	20	31	8	2	4	65
B	18	29	12	3	6	68
C	21	32	10	2	5	70
D	19	30	9	3	6	67

Al comparar por parejas los factores locacionales subjetivos se obtiene las preferencias que muestra la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Preferencia relativa de los factores locacionales subjetivos

	Pareja	Se prefiere
1	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de vida • Facilidades de distribución 	Condiciones de vida
2	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de vida • Clima 	Igualmente los dos
3	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de vida • Condiciones sociales y culturales 	Condiciones sociales y culturales
4	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidades de distribución • Clima 	Facilidades de distribución
5	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidades de distribución • Condiciones sociales y culturales 	Igualmente las dos
6	<ul style="list-style-type: none"> • Clima • Condiciones sociales y culturales 	Condiciones sociales y culturales

Al comparar por parejas las distintas alternativas de localización, en relación con cada uno de los factores locacionales subjetivos, la alternativa que presenta las mejores condiciones, en cuanto al factor en consideración, se halla en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Preferencia relativa de alternativas en relación con cada factor locacional subjetivo

Factor locacional subjetivo	Opciones con mejores condiciones entre					
	A y B	A y C	A y D	B y C	B y D	C y D
Condiciones de vida	A	Igual	A	C	D	Igual
Facilidades de distribución	B	A	Igual	B	B	D
Clima	Igual	C	Igual	C	Igual	C
Condiciones sociales y culturales	B	Igual	D	B	Igual	C



Se considera que los factores locacionales objetivos son dos veces más importantes que los subjetivos.

Luego se ordena preferencialmente las alternativas de localización del proyecto aplicando el método de la medida de preferencia de localización MPL.

Localización	Costo total de los factores locacionales objetivos, C_i (miles \$)	$1/C_i$	$VO_i = \left[C_i \sum_{i=1}^n \left(1/C_i \right) \right]^{-1}$
A	65	0.0154	0.259
B	68	0.0147	0.248
C	70	0.0143	0.241
D	67	0.0149	0.252
	Total	0.0593	1.000

Solución:

- Cálculo del valor objetivo (VO_i) correspondiente a cada alternativa de localización.

Los valores VO_i de la tabla anterior se obtienen como sigue:

$$VOA = [65 (0.0593)]^{-1} = 0.259$$

$$VOB = [68 (0.0593)]^{-1} = 0.248$$

$$VOC = [70 (0.0593)]^{-1} = 0.241$$

$$VOD = [67 (0.0593)]^{-1} = 0.252$$

- Cálculo del índice de importancia relativa (P_i) correspondiente a cada factor locacional subjetivo.

Factor locacional subjetivo, j	Comparación por parejas						Suma de preferencias	Índice de importancia relativa P
	1	2	3	4	5	6		
Condiciones de vida	1	1	0				2	$2 \div 8 = 0.25$
Facilidades de distribución	0			1	1		2	$2 \div 8 = 0.25$
Clima		1		0		0	1	$1 \div 8 = 0.13$
Condiciones sociales y culturales			1		1	1	3	$3 \div 8 = 0.37$
TOTAL							8	1.00

- Ordenación jerárquica de las opciones de localización, en relación con cada uno de los factores de localización subjetivos. Se hace a través del indicador S_{ij} . Los resultados se muestran en las tablas siguientes.

Puntaje relativo de las opciones de localización, S_{ij} (1 de 4)

Localización	Comparación por parejas						Suma de preferencias	S_{ij}
	AB	AC	AD	BC	BD	CD		
	Condiciones de vida							
A	1	1	1				3	0.37
B	0			0	0		1	0.00
C		1		1		1	3	0.38
D			0		1	1	2	0.25
	TOTAL						9	1.00

Puntaje relativo de las opciones de localización, S_{ij} (2 de 4)

Localización	Comparación por parejas						Suma de preferencias	S_{ij}
	AB	AC	AD	BC	BD	CD		
	Facilidades de distribución							
A	0	1	1				2	0.29
B	1			1	1		3	0.43
C		0		0		0	0	0.00
D			1		0	1	3	0.28
	TOTAL						7	1.00



Puntaje relativo de las opciones de localización, S_{ij} (3 de 4)

Localización	Comparación por parejas						Suma de preferencias	S_{ij}	
	AB	AC	AD	BC	BD	CD			
	Clima								
A	1	0	1				2	0.22	
B	1			0	1		2	0.22	
C		1		1		1	3	0.34	
D			1		1	0	2	0.22	
TOTAL							9	1.00	

Puntaje relativo de las opciones de localización, S_{ij} (4 de 4)

Localización	Comparación por parejas						Suma de preferencias	S_{ij}	
	AB	AC	AD	BC	BD	CD			
	Condiciones sociales y culturales								
A	0	1	0				1	0.13	
B	1			1	1		3	0.37	
C		1		0		1	2	0.25	
D			1		1	0	2	0.25	
TOTAL							8		

$$S_{ij} = \frac{\text{Suma de preferencias de la opción } i}{\sum_{j=1}^m \text{Suma de preferencias de la opción } i}$$

- Cálculo del valor subjetivo (VS) correspondiente a cada alternativa de localización.

Localización	Puntaje relativo de la opción, S_j , en relación con el factor				$VS_j = \sum_{j=1}^n S_j P_j$
	Condiciones de vida	Facilidades de distribución	Clima	Condiciones sociales y culturales	
A	0.37	0.29	0.22	0.13	0.242
B	0.00	0.43	0.22	0.37	0.273
C	0.38	0.00	0.34	0.25	0.232
D	0.25	0.28	0.22	0.25	0.253
Índice de importancia relativa del factor locacional, P_j					
	0.25	0.25	0.13	0.37	

Los valores VS_j de la tabla anterior se obtienen como sigue:

$$VS_A = 0.37 (0.25) + 0.29 (0.25) + 0.22 (0.13) + 0.13 (0.37) = 0.242$$

$$VS_B = 0.00 (0.25) + 0.43 (0.25) + 0.22 (0.13) + 0.37 (0.37) = 0.273$$

$$VS_C = 0.38 (0.25) + 0.00 (0.25) + 0.34 (0.13) + 0.25 (0.37) = 0.232$$

$$VS_D = 0.25 (0.25) + 0.28 (0.25) + 0.22 (0.13) + 0.25 (0.37) = 0.253$$

Total 1.000

- Cálculo de la medida de preferencia de localización, MPL_j . El enunciado del ejemplo establece que los factores locacionales objetivos son dos veces más importantes que los subjetivos. Por lo tanto:

$$r = 2 (1 - r)$$

$$3r = 2$$

$$r = 2 \div 3 = 0.67 \quad \text{y} \quad (1 - r) = 0.33$$

Localización	Valor Objetivo VO_i	Valor subjetivo VS_i	Medida de preferencia de localización MPL_i^*	Orden preferencial
A	0.259	0.242	0.253	2
B	0.248	0.273	0.256	1
C	0.241	0.232	0.238	4
D	0.252	0.253	0.252	3
			1.000	

$$(*) MPL_i = 0.67VO_i + 0.33VS_i$$

El orden preferencial de las opciones de localización es B, A, D, C.