

**Universidad de Matanzas  
“Camilo Cienfuegos”**

**Monografías**

**Métodos de localización de  
instalaciones de producción y  
servicios**

**Autores: MSc. Ing. Evis L. Diéguez Matellán  
Ing. Pablo A. Pérez Gosende**

**Noviembre/2007**

## **Métodos de localización de instalaciones de producción y servicios**

Desde la década de los 60, etapa donde ocurre la maduración de la teoría de la localización como área de investigación, se han creado y desarrollado infinidad de métodos analíticos cuyas aficciones se extienden más allá de la administración de empresas, lo cual la convierte en un área pluridisciplinaria, (Domínguez Machuca et. al., 1995).

Dichos métodos constituyen una herramienta de apoyo esencial ante la toma de decisiones sobre localización de instalaciones, las cuales a su vez, son un elemento fundamental del plan estratégico general de cualquier empresa (aún cuando muchas de ellas la tomen sólo una vez en su historia), pues una buena selección de la ubicación puede contribuir a la realización de los objetivos empresariales, mientras que una localización desacertada puede conllevar un desempeño inadecuado de las operaciones.

El desarrollo de estos métodos ha derivado que los autores clasifiquen los mismos para una mejor comprensión, estudio y aplicación. La clasificación de los métodos de localización se rige por diversos criterios como se puede observar en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Clasificación de los métodos de localización. Fuente: Elaboración propia**

<b>Autores:</b>	<b>Clasificación:</b>	<b>Métodos</b>
Buffa Elwood, S (1981)	1. Modelos para la localización de una planta	✓ Modelo de Brown & Gibson
	2. Efectos de la inversión de capital y del volumen	✓ Punto de equilibrio
	3. Localización de varias plantas	✓ Programación lineal (Matriz de distribución, Método de transporte).
	4. Localización en el extranjero.	✓ Simulación ✓ Heurístico ✓ Técnica de ramificación y acotación.
Everett E. Adam & Ronald J. Ebert (1981)	1. Modelos cuantitativos.	✓ Modelo matemático.
	2. Según problemas de localización.	✓ Mediana simple ✓ Programación lineal ✓ Simulación
Salvendy, G. (1982)	1. Procedimientos de ubicación.	✓ Procedimiento general de ubicación.
	2. Cuantitativos	✓ Approach del centro de gravedad. ✓ Approach de programación lineal.
	3. Otros métodos	✓ Método de Monte Carlos. ✓ Método de programación heurística.
Pérez Gorostegui (1990)	Según problemas de localización: 1. Instalaciones independientes	✓ Método de los factores ponderados
	2. Varios almacenes y fábricas independientes	✓ Programación lineal.
	3. Centros comerciales	✓ Modelo de Huff.

Ballou.h Ronald (1991)	1. Modelos para la localización de un solo elemento en la red.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Método de Weber.</li> <li>✓ Método de la Cuadrícula.</li> </ul>
	2. Modelos para la localización de varios almacenes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis de agrupación.</li> <li>✓ Modelo algorítmico.</li> <li>✓ Mini modelo analítico.</li> <li>✓ Uso combinado de la programación entera y la programación lineal.</li> <li>✓ Simulación y muestreo.</li> <li>✓ Métodos heurísticos (Modelo Kuehn-Hamburger y Modelo DISPLAN).</li> </ul>
	3. Centros de servicio y puntos de venta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lista compensada de factores.</li> <li>✓ Modelo de gravedad (Huff).</li> <li>✓ Análisis de regresión.</li> </ul>
Vallhonrat & Corominas (1991)	Según la complejidad de los modelos y las técnicas a utilizar	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Problemas en espacio continuo o discreto</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Problemas de localización de una o varias instalaciones</li> </ul>	
Schroeder (1992)	1. De clasificación aditivos o multiplicativos	✓ Modelo aditivo o multiplicativo de puntaje.
	2. De simulación o transporte	✓ Matriz de transporte de programación lineal (Programación lineal con una estructura espacial).
	3. Ubicación de comercios competitivos.	✓ Modelo de Huff.
Fernández Sánchez (1993)	Con valoración objetiva de los factores intangibles	
	Sin valoración objetiva de factores	✓ Modelo jerárquico de localización, factor preferencial.
Domínguez Machuca, et. al. (1995)	Exactos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Factores ponderados</li> <li>✓ Centro de gravedad</li> <li>✓ Mediana simple</li> <li>✓ Gráficos de volumen, ingresos y costos</li> <li>✓ Electra I</li> <li>✓ Método del transporte, programación dinámica o programación entera.</li> </ul>
	Heurísticos	✓ Heurística de Ardalan.
	Simulación	✓ Simuladores
	Ubicación de una sola instalación	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Preferencia jerárquica.</li> <li>✓ Factores ponderados.</li> </ul>
	Ubicación de varias instalaciones	✓ Método del transporte.
	Localización de tiendas minoristas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis de regresión estadístico.</li> <li>✓ Ley de gravitación de comercio.</li> </ul>

Chase & Aquilano (2000)		✓ Modelo de Huff.
	1. Por niveles geográficos: en apoyo al macroanálisis.	✓ Clasificación de factores. ✓ Programación lineal. ✓ Centro de gravedad.
	✓ Métodos para la toma de decisiones más complejas.	✓ Delphi.
Gaither & Fraizer (2000)	2. Para la ubicación de instalaciones de servicio	✓ Modelación por regresión. ✓ Procedimiento heurístico de Ardalán.
	Por tipos de instalaciones y sus factores de ubicación dominantes	
	Análisis de ubicación de menudeo y otros servicios	
	Análisis de ubicaciones para instalaciones industriales	
Krajewski & Ritzman. (2000)	Integración de factores cuantitativos y cualitativos	
	1. Métodos de enfoques sobre la base de factores cualitativos.	Método del puntaje ponderado.
	2. Modelos de enfoques sobre la base de factores cuantitativos	Método de carga-distancia. Análisis del punto de equilibrio. Método del transporte.
MIT (2001)	3. Otros métodos	✓ Simulación. ✓ Heurísticos. ✓ Optimización.
	1. Problemas clásicos de localización en redes.	✓ Problemas de media. ✓ Problemas de centro. ✓ Problemas de requisitos.
	2. Colas espacialmente distribuidas. con 2 servidores y n servidores	✓ Modelo de colas "hipercubo" de 2 servidores. ✓ Modelo de colas "hipercubo" de n servidores.
Trespalacios et. al. (s.a)	3. Otras aplicaciones de estos métodos.	✓ El problema del camino más corto, (utilizando el algoritmo de etiquetado de nodos de Dijkstra). ✓ El problema del árbol de expansión mínima (MST). ✓ Problema del viajante de comercio. ✓ Problema del cartero chino. ✓ Método de Crofton.
	Métodos fundamentados en la analogía	✓ Métodos fundamentados en la analogía
	Análisis de regresión múltiple	✓ Análisis de regresión múltiple.
Seppalla (2003)	Modelos generales de interacción	✓ Ley de gravitación del comercio al detalle. ✓ Modelo de Huff
	Modelos Normativos	✓ Basados en el centro de gravedad ✓ De programación lineal ✓ De simulación ✓ Heurísticas (Método ,de

		Kuehn y Hamburger (1963))
	Descriptivos	✓ Teoría del lugar central ✓ De gravedad
	Competencia espacial	

No es objetivo de esta monografía el análisis de cada uno de los métodos anteriormente mencionados pero sí el de aquellos que por su importancia y condiciones prácticas de aplicación pueden ser empleados con fines docentes, aportando para ello ejercicios resueltos y propuestos en cada caso.

## **1. Método de los factores ponderados**

Este modelo permite una fácil identificación de los costos difíciles de evaluar que están relacionados con la localización de instalaciones.

Los pasos a seguir son:

1. Desarrollar una lista de factores relevantes (factores que afectan la selección de la localización).
2. Asignar un peso a cada factor para reflejar su importancia relativa en los objetivos de la compañía.
3. Desarrollar una escala para cada factor (por ejemplo, 1-10 o 1-100 puntos).
4. Hacer que la administración califique cada localidad para cada factor, utilizando la escala del paso 3.
5. Multiplicar cada calificación por los pesos de cada factor, y totalizar la calificación para cada localidad.
6. Hacer una recomendación basada en la máxima calificación en puntaje, considerando los resultados de sistemas cuantitativos también.

La ecuación es la siguiente:

$$S_j = \sum_{i=1}^m W_i \cdot F_{ij}$$

donde:

$S_j$  puntuación global de cada alternativa j

$W_i$  es el peso ponderado de cada factor i

$F_{ij}$  es la puntuación de las alternativas j por cada uno de los factores i

### **1.1 Ejercicios resueltos**

- I. Un fabricante de aparatos electrónicos desea expandirse construyendo una segunda instalación. Su búsqueda se ha reducido a cuatro localizaciones, todas aceptables para la gerencia en lo que se refiere a factores dominantes o críticos. La evaluación de esos sitios, realizada en función de siete factores de localización, aparece en la siguiente tabla:

Factor de localización	Ponderación del factor (%)	Alternativas			
		A	B	C	D
1. Disponibilidad de mano de obra.	20	5	4	4	5
2. Calidad de vida	16	2	3	4	1
3. Sistema de transporte	16	3	4	3	2
4. Proximidad a los mercados	14	5	3	4	4
5. Proximidad a los materiales	12	2	3	3	4
6. Impuestos	12	2	5	5	4
7. Servicios públicos	10	5	4	3	3

Calcule el puntaje ponderado para cada alternativa. ¿Qué localización es la más recomendable?

Solución:

Aplicando  $P_i = \sum w_j \cdot P_{ij}$  se obtienen los valores de la puntuación, como se muestra a continuación:

Factor de localización	Ponderación del factor (%)	Alternativas			
		A	B	C	D
1. Disponibilidad de mano de obra.	20	100	80	80	100
2. Calidad de vida	16	32	48	64	16
3. Sistema de transporte	16	48	64	48	32
4. Proximidad a los mercados	14	70	42	56	56
5. Proximidad a los materiales	12	24	36	36	48
6. Impuestos	12	24	60	60	48
7. Servicios públicos	10	50	40	30	30
<b>Puntuación Total</b>	<b>100</b>	<b>348</b>	<b>370</b>	<b>374</b>	<b>330</b>

Basándonos en los puntajes ponderados de la tabla anterior, la localización C representa el sitio preferido, aunque la localización B le sigue de cerca en segundo lugar.

- II. Una empresa de alimentos ha decidido expandir su línea de enlatados abriendo una nueva localización de fábrica. Esta expansión se debe a la capacidad limitada en su planta existente. La siguiente tabla muestra una serie de factores relevantes propuestos por la administración de la empresa para tomar la decisión de localización final, así como su importancia relativa y las calificaciones dadas según el grupo de expertos para dos ciudades de interés.

Factor de localización	Importancia relativa	Calificación (escala 1-100)	
		Ciudad A	Ciudad B
Capacitación de mano de obra	0,25	70	60
Sistema de transporte	0,05	50	60
Educación y salud	0,10	85	80
Estructura de impuestos	0,39	75	70
Recursos y productividad	0,21	60	70

Solución:

Aplicando  $P_i = \sum w_j \cdot P_{ij}$  se obtienen los valores de la puntuación, como se muestra a continuación:

Factor de localización	Importancia relativa	Calificación ponderada	
		Ciudad A	Ciudad B
Capacitación de mano de obra	0,25	17,5	15,0
Sistema de transporte	0,05	2,5	3,0
Educación y salud	0,10	8,5	8,0
Estructura de impuestos	0,39	29,3	27,3
Recursos y productividad	0,21	12,6	14,7
<b>Puntuación total</b>	<b>1,00</b>	<b>70,4</b>	<b>68,0</b>

Del análisis anterior se puede concluir que la ciudad A es preferible para localizar la nueva planta.

- III. El equipo de estudio para la localización de una nueva planta de fabricación ha identificado un conjunto de criterios importantes para el éxito de la decisión; al mismo tiempo ha distinguido el grado de importancia de cada uno en términos porcentuales. Con estos criterios se procedió a evaluar cada una de las alternativas en una escala de 0 a 10. Todo esto se recoge en la siguiente tabla:

**Puntuaciones de las distintas alternativas:**

Factores	Peso Relativo (%)	Alternativas		
		A	B	C
1. Proximidad a proveedores	30	7	7	10
2. Disponibilidad de recursos laborales	30	5	9	7
3. Transportes	20	9	6	6
4. Impuestos	15	6	6	7
5. Costos de instalación	5	7	8	2
<b>Puntuación total</b>	<b>100</b>	<b>6,65</b>	<b>7,3</b>	<b>7,45</b>

Solución:

La puntuación total para cada alternativa se calcula como la suma de las puntuaciones para cada factor ponderadas según su importancia relativa. Así, por ejemplo, la puntuación total recibida por la alternativa A se obtendría como:

$$P_A = 7 \cdot 0,30 + 5 \cdot 0,30 + 9 \cdot 0,20 + 6 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,05$$

$$P_A = 6,65$$

Las alternativas B y C parecen ser mejores que A, por lo que se podría rechazar esta última. Entre las 2 restantes, hay una pequeña diferencia a favor de C, aunque quizás no definitiva. Vemos que C tiene la ventaja principal de estar muy próxima a la fuente de abastecimientos de materia prima, lo cual es un factor importante, mientras que su punto débil es el costo de instalación, que es bastante elevado. Por su parte las ventajas de B residen en los costos laborales y los costos de instalación, que son mejores que los de C. en los demás criterios, transporte e impuestos, ambas están muy igualadas. A la vista de esto, podría ofrecerse a la dirección las alternativas B y C como factibles

para que esta decida en función de otros elementos. No obstante hay que señalar que la alternativa B no presenta ningún punto débil tan marcado como C, lo que podría decantar la decisión en su favor.

## **1.2 Ejercicios propuestos**

- I. Un restaurante de comida china en una ciudad de Cuba está considerando abrir una segunda instalación en la parte norte de la misma. La siguiente tabla muestra 4 sitios potenciales y la clasificación de los factores considerados para el estudio, así como su peso. ¿Cuál alternativa debe ser seleccionada?

Factor	Peso	Alternativas			
		1	2	3	4
Afluencia de población local	10	70	60	85	90
Costo de tierra y de construcción	10	85	90	80	60
Flujo de tráfico	25	70	60	85	90
Disponibilidad de estacionamiento	20	80	90	90	80
Potencial de crecimiento	15	90	80	90	75

- II. Se está efectuando un estudio para determinar la mejor localización de un hotel, considerando un grupo de factores que han sido ponderados y evaluados para 4 posibles opciones de ubicación por un panel de expertos. Los resultados de este análisis se muestran a continuación:

Factores de la localización	Ponderación	A	B	C	D
Atractivos turísticos	0.35	90	75	65	70
Existencia de Terrenos	0.25	85	80	50	75
Servicios básicos	0.15	80	70	65	90
Facilidades para transportación	0.12	75	75	70	75
Disponibilidad de personal	0.08	90	85	80	75
Impacto ecológico	0.05	65	70	75	70

Colabore con el equipo de expertos en la determinación de la mejor localización para el hotel.

## **2. Método de la media geométrica**

Este método surge con el objetivo de evitar que puntuaciones muy deficientes en algunos factores sean compensadas por otras muy altas en otros, lo que ocurre en el método de los factores ponderados. En esta técnica se emplean ponderaciones exponenciales en vez de lineales y se utiliza el producto de las puntuaciones en cada factor en vez de la sumatoria. La puntuación global de cada alternativa queda expresada como:

$$P_i = \prod P_{ij}^{w_j}$$

donde:

$P_i$  es la puntuación global de cada alternativa j

$P_{ij}$  es la puntuación de las alternativas j por cada uno de los factores i

$W_i$  es el peso ponderado de cada factor i

## **2.1 Ejercicio propuesto**

Una empresa cuya actividad fundamental está relacionada con el procesamiento de petróleo debe decidir entre tres localidades para la construcción de un nuevo centro. La empresa ha seleccionado cinco factores como base para la evaluación y les ha asignado un valor en peso de uno a cinco para cada factor.

No.	Nombre del factor	Peso
1	Proximidad a las instalaciones del puerto	5
2	Disponibilidad y costo de fuente de energía	3
3	Disponibilidad de fuerza de trabajo calificada	4
4	Atractivo de la localidad	2
5	Proveedores de equipos en el área	3

Los expertos han evaluado cada localidad para cada factor sobre una base de 1 a 100 puntos tal y como se muestra a continuación:

Factor	Localidad		
	A	B	C
1	100	80	100
2	50	70	70
3	30	80	60
4	10	60	80
5	90	60	50

¿De acuerdo a la información suministrada qué sitio usted recomendaría?

En la resolución de este ejercicio se emplee el método de los factores ponderados y la media geométrica.

## **3. Gráficos de volúmenes, ingresos y costos**

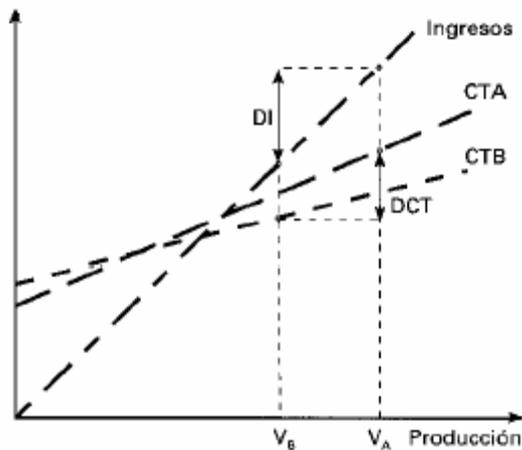
Distintos factores cuantitativos pueden expresarse en términos de costo total. Al localizar una determinada instalación pueden ser afectados los ingresos y los costos. El análisis del punto de equilibrio puede ser utilizado para determinar los rangos dentro de los cuales cada alternativa resulta ser la mejor. Este estudio se puede hacer matemática o gráficamente siguiendo los pasos que se enumeran a continuación:

1. Determinar los costos variables y los costos fijos para cada sitio. Recuerde que los costos variables son la parte del costo total que varía en forma directamente proporcional al volumen de producción.

2. Trazar en una sola gráfica las líneas de costo total para todos los sitios.
3. Identificar los rangos aproximados en los cuales cada una de las localizaciones provee el costo más bajo.
4. Resolver algebraicamente para hallar los puntos de equilibrio sobre los rangos pertinentes.

### 3.1 Ejercicios resueltos

- I. Una empresa de servicios esta analizando dos alternativas de localización, A y B, desde el punto de vista de los beneficios potenciales de cada ubicación a partir de las funciones de ingreso y costo de ambas alternativas como se muestra a continuación:



**Funciones de ingreso y costo**

Puede observarse que la primera ubicación ofrece menores costos fijos que la segunda, pero que tiene un mayor costo variable unitario. La función de ingresos se supone la misma para las dos opciones, sin embargo, por tratarse de una empresa de servicios, el volumen de ventas variará con la localización, siendo el esperado en A ( $V_A$ ), mayor que el B ( $V_B$ ), de tal forma que en el presente caso su diferencia ( $DI = I_A - I_B$ ) supera a la diferencia de sus respectivos costos totales ( $DCT = CT_A - CT_B$ ). Ello hace preferible la alternativa A, pues reporta un mayor beneficio.

- II. Una empresa pretende elegir una ubicación para una planta de fabricaciones en función de los costos, ya que el ingreso por ventas no se verá afectado por la misma, es decir, se supone que venderá la misma cantidad, independientemente de donde se instale. La empresa estudia cuatro posibles alternativas, para los cuales ha estimado los costos fijos y variables que aparecen en la siguiente tabla:

#### **Costos fijos y variables en cada opción**

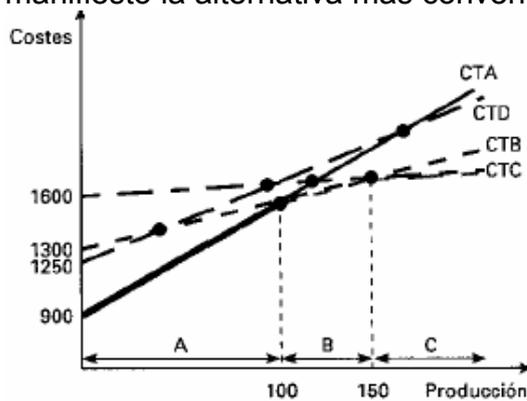
Tipos de costos		Sitios a elegir			
		A	B	C	D
Fijos	Alquileres	140	200	300	250
	Impuestos	100	300	400	300
	Producción	360	400	500	350
	Otros	300	400	400	350

<b>Totales</b>		<b>900</b>	<b>1300</b>	<b>1600</b>	<b>1250</b>
<b>Variables</b>	Materiales	5	3	4	5
	Mano de obra	6	5	8	8
	Transportes	7	6	2	3
	Otros	3	3	1	3
<b>Totales</b>		<b>21</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>19</b>

Solución:

La opción A es la que provoca menores costos fijos, sobre todo por lo que se refiere a impuestos y alquileres. Por el contrario, el costo variable es bastante alto al tratarse de una zona más alejada, lo que provoca mayores costos de transporte de materias primas, personal, etc. La ubicación en B tiene la ventaja de ofrecer mano de obra más barata, así como aprovisionamiento bastante económico. Por lo que respecta a la alternativa C, resulta ser justamente lo contrario de A; sus costos fijos son más elevados, pero los variables son los más reducidos. El emplazamiento D por su parte, está en una posición intermedia tanto en costos fijos como en variables.

La representación de las funciones de costos en la figura siguiente, pone de manifiesto la alternativa más conveniente para cada nivel de demanda.



**Funciones de costo**

Puede verse como la alternativa A produce los menores costos para volúmenes de hasta 100 unidades; la B para valores comprendidos entre 100 y 150 unidades y la C para cifras superiores a 150 unidades. La alternativa D quedaría rechazada ya que se ve siempre superada por alguna de las otras.

- III. Para la localización de una industria se han preseleccionado 4 lugares entre los que hay que elegir cual es el más adecuado. Para ello se han analizado posibles costos, los cuales se detallan a continuación:

**Costos fijos**

**Sitios a elegir**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Alquileres</b>	140	200	300	250
<b>Impuestos</b>	100	300	400	300
<b>Producción</b>	360	400	500	350
<b>Otros</b>	300	400	400	350
<b>Totales</b>	900	1300	1600	1250

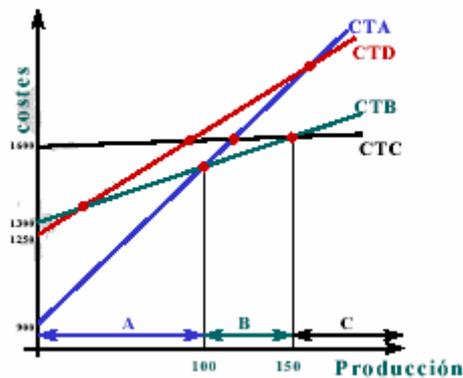
## Costos variables

### Sitios a elegir

	A	B	C	D
<b>Materiales</b>	5	3	4	5
<b>Mano de obra</b>	6	5	8	8
<b>Transportes</b>	7	6	2	3
<b>Otros</b>	3	3	1	3
<b>Totales</b>	21	17	15	19

### Solución:

Representando gráficamente los datos se obtiene:

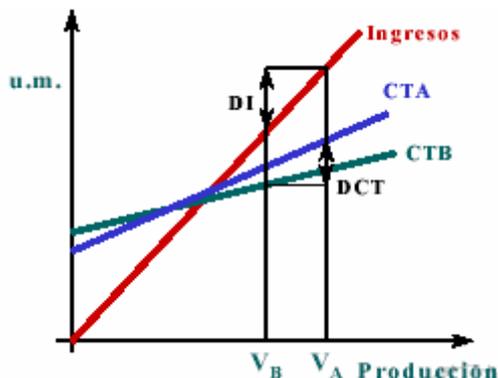


De donde se concluye que para volúmenes de producción inferiores a 100 la solución es ubicar en A; para valores entre 100 y 150 en B y para mayores de 150 en C.

- IV. A partir de la información ofrecida en el ejercicio anterior determine la mejor alternativa de localización, si los ingresos por unidad varían de una localización a otra.

### Solución:

Si los ingresos por unidad varían de una localización a otra, entonces estamos ante un problema de gráficos de volúmenes, ingresos y costos con ingresos dependientes de la localización por lo que los valores de ingresos deben ser incluidos, y las comparaciones deben ser hechas con base en ingresos totales menos costos totales en cada ubicación.



Dos alternativas de localización A y B

$$DI = I_A - I_B$$

$$DCT = CT_A - CT_B$$

Alternativa A

### **3.2 Ejercicio propuesto**

Un gerente de operaciones ha logrado reducir a solo cuatro comunidades la búsqueda de la localización para una nueva instalación. Los costos fijos anuales por (por concepto de tierra, seguros, equipos y edificios) y los costos variables (por mano de obra, materiales, transporte entre otros) son:

<b>Comunidad</b>	<b>Costos fijos por año</b>	<b>Costos variables por unidad</b>
<b>A</b>	\$ 150 000	\$ 62
<b>B</b>	\$ 300 000	\$ 38
<b>C</b>	\$ 500 000	\$ 24
<b>D</b>	\$ 600 000	\$ 30

- Trace las curvas de costo total para todas las comunidades, en una sola gráfica. Identifique en ella el rango aproximado en el cual cada una de las comunidades provee el costo más bajo.
- Aplicando el análisis del punto de equilibrio, calcule usted las cantidades de equilibrio sobre los rangos pertinentes. Si la demanda esperada es de 15 000 unidades al año. ¿Cuál será la mejor localización?

### **4. Método del centro de gravedad**

Puede utilizarse para la ubicación de un almacén que demanda servicio a varias tiendas detallistas, para ubicar plantas de fabricación teniendo en cuenta el punto desde donde se reciben los productos o materias primas y el punto(s) al cual(es) se dirige su salida (destino). Este método tiene en cuenta la localización de los mercados y los costos de transporte. El problema consiste en una localización central que minimice el costo total de transporte (CTT), el cual se supone proporcional a la distancia recorrida y al volumen o peso de los materiales trasladados hacia o desde la instalación, por lo que se expresa:

$$CTT = \sum c_i \cdot v_i \cdot d_i$$

$c_i$  es el costo unitario de transporte correspondiente al punto  $i$

$v_i$  volumen o peso de los materiales movidos desde o hacia  $i$

$d_i$  distancia entre el punto  $i$  y el lugar donde se encuentra la instalación

El producto  $c_i \cdot v_i$  es igual al peso ( $w_i$ ) o importancia que cada punto  $i$  tiene en el emplazamiento de la instalación.

Para llegar a la solución óptima puede calcularse el centro de gravedad dentro del área marcada por las distintas localizaciones. Las coordenadas que definen ese punto central se determinan empleando las expresiones siguientes:

$$\bar{x} = \frac{\sum c_i \cdot v_i \cdot x_i}{\sum c_i \cdot v_i} \quad \bar{y} = \frac{\sum c_i \cdot v_i \cdot y_i}{\sum c_i \cdot v_i}$$

Para medir las distancias se puede trabajar sobre un mapa o plano de escala. Las distancias más utilizadas son la distancia rectangular y la distancia euclídea.

La distancia rectangular se emplea cuando los desplazamientos se hacen a través de giros de 90°, es decir, siguiendo el movimiento en dos direcciones,

horizontales y verticales. Llamando K al factor de escala y siendo (x,y) el lugar donde ésta se encuentra, su valor vendría dado por:

$$d_i = K(|x - x_i| + |y - y_i|)$$

Para determinar la solución óptima directamente cuando se emplea este tipo de distancia se utiliza el modelo de la mediana simple.

La distancia euclídea es la línea recta que une el punto  $i$  con el lugar ocupado por la instalación. La distancia sería la siguiente:

$$d_i = K[(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{1/2}$$

Para este tipo de distancia el óptimo se encontraría en las coordenadas siguientes:

$$x^* = \frac{\sum (c_i \cdot v_i \cdot x_i / d_i)}{\sum (c_i \cdot v_i / d_i)}$$

$$y^* = \frac{\sum (c_i \cdot v_i \cdot y_i / d_i)}{\sum (c_i \cdot v_i / d_i)}$$

#### 4.1 Ejercicios resueltos

- I. Una refinería necesita ubicar una instalación de almacenamiento intermedia entre su planta de refinamiento en **A** y sus principales distribuidores. Las coordenadas y los consumos de los diferentes distribuidores y de la planta son las siguientes:

Lugar	Coordenadas	Consumos (litros por mes en millones)
<b>A</b>	(325;75)	1500
<b>B</b>	(400;150)	250
<b>C</b>	(450;350)	450
<b>D</b>	(350;400)	350
<b>E</b>	(25;450)	450

Solución:

Se utiliza el método del centro de gravedad cuyas fórmulas son:

$$C_x = \frac{\sum d_{ix} \cdot V_i}{\sum V_i} \quad C_y = \frac{\sum d_{iy} \cdot V_i}{\sum V_i}$$

Sustituyendo valores:

$$C_x = \frac{(325 \cdot 1500) + (400 \cdot 250) + (450 \cdot 450) + (350 \cdot 350) + (25 \cdot 450)}{1500 + 450 + 250 + 350 + 450} = \frac{923,75}{3,0} = 307,9$$

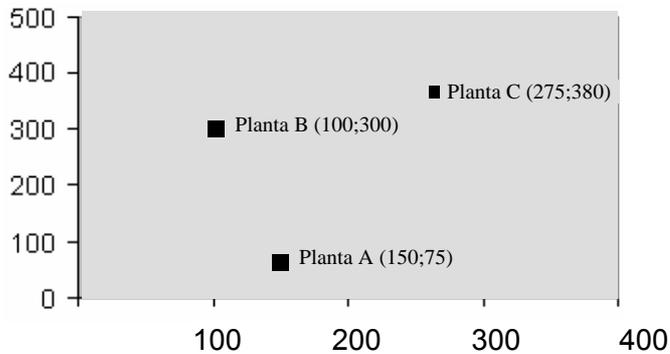
$$C_y = \frac{(75 \cdot 1500) + (150 \cdot 250) + (350 \cdot 450) + (400 \cdot 350) + (450 \cdot 450)}{1500 + 450 + 250 + 350 + 450} = \frac{650}{3,0} = 216,7$$

A partir de estos valores, se podría plantear la ubicación definitiva en lugares próximos al punto calculado (308;217).

- II. Cool Air, fabricante de aire acondicionado para automóviles, actualmente produce su línea XB-300 en tres ubicaciones diferentes: la Planta A, la Planta B y la Planta C.

Recientemente la gerencia decidió construir todos los compresores -que son un componente importante del producto- en una instalación independiente, dedicada exclusivamente a eso: la Planta D. Con base en el método del centro de gravedad y la información que aparece en los cuadros 1 y 2, determine la ubicación óptima de la Planta D. Suponga una relación lineal entre volúmenes despachados y costos de despacho.

**Cuadro 1. Matriz de ubicación de la planta**



**Cuadro 2. Cantidad de compresores requeridos por cada planta**

Planta	Compresores requeridos por año
A	6 000
B	8 200
C	7 000

Solución:

$$d_{1x} = 150 \quad d_{1y} = 75 \quad V_1 = 6,000$$

$$d_{2x} = 150 \quad d_{2y} = 300 \quad V_2 = 8,200$$

$$d_{3x} = 275 \quad d_{3y} = 380 \quad V_3 = 7,000$$

$$C_x = \frac{\sum d_{ix} \cdot V_i}{\sum V_i} = \frac{(150 \cdot 6000) + (100 \cdot 8200) + (275 \cdot 7000)}{6000 + 8200 + 7000} = 172$$

$$C_y = \frac{\sum d_{iy} \cdot V_i}{\sum V_i} = \frac{(75 \cdot 6000) + (300 \cdot 8200) + (380 \cdot 7000)}{21200} = 262,7$$

La ubicación óptima de la planta D se encuentra en las coordenadas (172;263).

#### **4.2 Ejercicios propuestos**

- I. Por su experiencia en el área de planificación y ordenamiento territorial, se le pide determinar la localización que garantice los menores costos de operación de un almacén de suministros, para centros gastronómicos de una importante zona turística del país. Para ello se cuentan con los siguientes datos:

<b>Centros gastronómicos</b>	<b>Localización (x;y)</b>	<b>Carga (Embarques al mes)</b>
X	(7;6)	17
Y	(2;9)	11
Z	(1;4)	10
V	(3;5)	14
W	(6;8)	12
U	(5;8)	15

Muestre gráficamente los resultados obtenidos.

- II. La empresa distribuidora CIMEX ha conformado un grupo de expertos para localizar un nuevo almacén central que le permita llevar a efecto importantes contratos con 8 nuevos clientes en el oriente del país y así, cumplir con los planes de entrega que en la actualidad superan en un 35% las capacidades de distribución de la empresa en la zona, y a su vez disminuir los costos por concepto de transportación de mercancías. Colabore con dicho grupo en la tarea de localización si es conocida de antemano la demanda mensual de productos en toneladas por cada cliente. Suponga conocida además la ubicación geográfica exacta de cada uno de ellos en el plano de macrolocalización, teniendo en cuenta que 1 cm en el plano corresponde a 1 km en la escala real.

<b>Cliente</b>	<b>Demanda (t/mes)</b>	<b>Coordenadas en el plano (x;y)</b>
<b>1</b>	20	(1,7;6,0)
<b>2</b>	50	(4,8;6,3)
<b>3</b>	35	(8,0;4,4)
<b>4</b>	40	(9,4;0,9)
<b>5</b>	30	(6,6;0,6)
<b>6</b>	5	(4,4;2,0)
<b>7</b>	10	(1,4;1,3)
<b>8</b>	40	(3,0;3,6)

### **5. Método del transporte**

Es una técnica de aplicación de la programación lineal, un enfoque cuantitativo que tiene como objetivo encontrar los medios menos costosos (óptimos) para embarcar abastos desde varios orígenes (fábricas, almacenes o cualquier otro de los puntos desde donde se embarcan los bienes) hacia varios destinos (cualquiera de los puntos que reciben bienes). En los problemas de localización, este método se puede emplear para el análisis de la mejor ubicación de un nuevo centro, de varios a la vez, y en general, para cualquier reconfiguración de la red.

Para utilizar el método de transportación hay que considerar los siguientes pasos:

1. Los puntos de origen y la capacidad o abasto por período, para cada uno.
2. Los puntos de destino y la demanda por período para cada uno.

3. El costo de embarque por una unidad desde cada origen hacia cada destino.

El primer paso en el procedimiento de este tipo de problema es establecer una matriz de transportación, la cual tiene como objetivo resumir de manera provechosa y concisa todos los datos relevantes y continuar los cálculos del algoritmo.

Para crear la matriz de transportación deben seguirse los siguientes pasos:

1. Crear una fila que corresponda a cada planta (existente o nueva) que se este considerando y crear una columna para cada almacén.
2. Agregar una columna para las capacidades de las plantas y una fila para las demandas de los almacenes, e insertar después sus valores numéricos específicos.
3. Cada celda que no se encuentre en la fila de requisitos ni en la columna de capacidad representa una ruta de embarque desde una planta hasta un almacén. Insertar los costos unitarios en la esquina superior derecha de cada una de esas celdas.

En muchos problemas reales, a veces sucede que la capacidad excede a los requisitos  $r$  unidades, se agrega una columna (un almacén ficticio) con una demanda de  $r$  unidades y los costos de embarque en las nuevas celdas creadas son igual a \$0, pues en realidad esos embarques no se realizan, por lo que representan capacidad de planta no utilizada. Igualmente, si los requerimientos exceden a la capacidad por  $r$  unidades, se agrega una fila más (una planta ficticia) con capacidad de  $r$  unidades y se asignan costos de embarque iguales a los costos faltantes de las nuevas celdas. Si estos últimos costos no se conocen o su valor es el mismo para todos los almacenes, se le asigna \$0 por unidad a los costos de embarque de cada celda de la fila ficticia. La solución óptima no resulta afectada, pues el mismo faltante de  $r$  unidades se necesita en todos los casos. Para lograr que la suma de todas las capacidades sea igual a la suma de todas las demandas es que se añade una planta ficticia o un almacén ficticio. Algunos paquetes de software los añaden automáticamente cuando el usuario introduce los datos.

Cuando la matriz inicial está conformada, el objetivo es establecer el patrón de asignación de menor costo que satisfaga todas las demandas y agote todas las capacidades. Este patrón se determina mediante el método de transporte, el cual garantiza que se hallará la solución óptima. La matriz inicial se completa con una solución que cumpla dos condiciones: sea factible y satisfaga las demandas de todos los almacenes y agote las capacidades de todas las plantas. Luego se crea una nueva matriz con una solución nueva, teniendo ésta un costo total más bajo. Este procedimiento iterativo se debe realizar hasta que no sea posible mejorar la solución anterior, cuando esto ocurra la solución óptima se ha encontrado.

En este método es obligatorio que se cumpla que el número de embarques no iguales a 0 en la solución óptima nunca sea mayor que la suma del número de planta y almacenes menos 1.

En el caso que se emplee un paquete de software sólo se introducen los datos correspondientes a la primera matriz.

### **5.1 Ejercicios resueltos**

- I. Una empresa del sector textil que opera en toda la península Ibérica dispone de la siguiente configuración:

- Dos plantas de fabricación en Setúbal y Valencia, con capacidades de 900 y 1 500 unidades respectivamente.
- Cuatro almacenes regionales de distribución que sirven a los clientes de sus respectivas zonas en Barcelona, Madrid, Lisboa y Sevilla con demandas de 700, 800, 500 y 400 unidades.

En los próximos años, la empresa espera un crecimiento de la demanda del orden del 25%, lo cual ha llevado a la dirección de la misma a plantearse la apertura de una nueva fábrica. A la vista de los criterios que la empresa estima importantes para la localización de la nueva planta, existen dos alternativas a considerar: La Coruña (alternativa 1) y Málaga (alternativa 2). La elección recaerá en aquella que provoque los menores costos de transporte entre las fábricas y los almacenes, dado que ambas parecen ser igualmente convenientes respecto a otros factores. La siguiente tabla recoge los costos de transporte unitarios entre cada origen y destino.

### **Costos unitarios de transporte**

<b>Costos unitarios</b>	<b>Barcelona</b>	<b>Madrid</b>	<b>Lisboa</b>	<b>Sevilla</b>
<b>Setúbal</b>	6	4	2	6
<b>Valencia</b>	2	3	7	5
<b>La Coruña</b>	6	4	4	8
<b>Málaga</b>	6	3	4	2

La apertura de la nueva planta en La Coruña o en Málaga va a provocar una reasignación distinta de los intercambios entre las fábricas y los almacenes. Para conocer como afectaría una y otra alternativa habría que resolver el problema de transporte en cada caso. Las correspondientes soluciones aparecen en las tablas que se muestran a continuación, que dan lugar respectivamente a los costos:

$$CT_c = 625 \cdot 2 + 275 \cdot 6 + 875 \cdot 2 + 400 \cdot 3 + 225 \cdot 5 + 600 \cdot 4 = 9\,375 \text{ u}$$

$$CT_m = 275 \cdot 4 + 625 \cdot 2 + 875 \cdot 2 + 625 \cdot 3 + 100 \cdot 3 + 500 \cdot 2 = 7\,275 \text{ u}$$

De los resultados obtenidos se deriva que Málaga es la mejor localización para el criterio empleado.

### **Solución final para la alternativa 1**

	<b>Barcelona</b>	<b>Madrid</b>	<b>Lisboa</b>	<b>Sevilla</b>	<b>Capacidad</b>
<b>Setúbal</b>	6	4	2	6	900
			625	275	
<b>Valencia</b>	2	3	7	5	1 500
	875	400		225	
<b>Córdoba</b>	6	4	4	8	600
		600			
<b>Demanda</b>	875	1 000	625	500	

**Solución final para la alternativa 2**

	Barcelona	Madrid	Lisboa	Sevilla	Capacidad
<b>Setúbal</b>	6	4	2	6	900
		275	625		
<b>Valencia</b>	2	3	7	5	1 500
	875	625			
<b>Málaga</b>	6	3	4	2	600
		100		500	
<b>Demanda</b>	875	1 000	625	500	

II. Una empresa dispone de 3 fábricas para la elaboración de sus productos cuyas capacidades de producción son las siguientes:

**1**                      **2**                      **3**  
 45 000 uds.      93 000 uds.      60 000 uds.

También dispone de 3 centros de distribución con capacidades:

**A**                      **B**                      **C**  
 28 000 uds.      65 000 uds.      35 000 uds.

Debido al aumento que han experimentado sus ventas (unas 70 000 unidades), la Dirección de la Empresa está evaluando la posibilidades de abrir un nuevo centro de distribución para lo cual tiene dos ubicaciones posibles (D, E). Los costos de transporte entre las diferentes ubicaciones son:

	A	B	C	D	E
<b>1</b>	8	12	2	6	15
<b>2</b>	13	4	3	10	4
<b>3</b>	0	7	11	8	7

Solución:

Ubicar en D. Costo: 842 000 u.

	A	B	C	D	Producción
<b>1</b>	8	12	2	6	45 000
			7 000	38 000	
<b>2</b>	13	4	3	10	93 000
		65 000	28 000		
<b>3</b>	0	7	11	8	60 000
	28 000			32 000	
<b>Necesidades</b>	28 000	65 000	35 000	70 000	

Ubicar en E. Costo: 786 000 u.

	A	B	C	D	Producción
1	8	12	2	15	45 000
		10 000	35 000		
2	13	4	3	4	93 000
		55 000		38 000	
3	0	7	11	7	60 000
	28 000			32 000	
<b>Necesidades</b>	28 000	65 000	35 000	70 000	

Luego la solución más económica es ubicar el centro en E con un costo asociado de transporte de 786 000 unidades monetarias.

Almacenes					Disponible	Diferencias
<b>Fábricas</b>	3	2	0	3	20	-
			15	5		
	4	8	7	5	15	1
	2	3	4	6	25	4
5	20					
<b>Requerida</b>	15	20	15	10		
<b>Diferencias</b>	2	-	-	1		

Almacenes					Disponible	Diferencias
<b>Fábricas</b>	3	2	0	3	20	-
			15	5		
	4	8	7	5	15	1
	2	3	4	6	25	-
5	20					
<b>Requerida</b>	15	20	15	10		
<b>Diferencias</b>	-	-	-	-		

$$\text{Costo total} = 15 \cdot 0 + 3 \cdot 5 + 10 \cdot 4 + 5 \cdot 5 + 5 \cdot 2 + 20 \cdot 3 = 150$$

## 5.2 Ejercicios propuestos

- I. Una empresa que fabrica alimentos para postres cuyo componente principal es la harina tiene dos plantas en las localidades A y B. La empresa también maneja almacenes localizados en los puntos 1, 2, 3 y 4. Los pronósticos indican que la demanda pronto superará la oferta y que se necesita una nueva planta con capacidad de 8 000 cajas por semanas. Dos sitios son posibles: C y D. Se han recopilado los siguientes datos:

Planta	Capacidad (cajas/semana)	Almacén	Demanda (cajas/semana)
A	10 000	1	7 000
B	7 500	2	9000
Nueva planta	8 000	3	4 500
Total	25 500	4	5 000
Total			25 500

Plant a	Costo de embarque al almacén (\$/caja)			
	1	2	3	4
A	7	2	4	5
B	3	1	5	2
C	6	9	7	4
D	2	10	8	3

Para la primera alternativa de la nueva planta determine el patrón de embarque que minimice los costos totales de transporte.

II. Supongamos un problema de transporte recogido en la tabla siguiente:

Almacenes					Disponible
Fábricas	3	2	0	3	20
	4	8	7	5	15
	2	3	4	6	25
Requerida	15	20	15	10	

Determine el patrón de embarque que minimice los costos totales de transporte.

### 6. Modelo Global de la localización

Su principal objetivo es solucionar el problema multidimensional de la localización y es empleado para ubicar una planta. En este modelo se clasifican los criterios que influyen en la localización según la estructura del mismo, así como la cuantificación de los criterios y realiza el intercambio entre ellos.

La estructura del modelo es la siguiente: para cada lugar  $i$ , se define una medida de localización ( $LM_i$ ) que refleja los valores relativos para cada uno de los criterios.

$$LM_i = CFM_i \cdot [X \cdot OFM_i + (1 - X) \cdot SFM_i]$$

Donde:

$CFMi$ : es la medida del factor crítico para el lugar  $i$ .

$CFMi$ : es igual a 0 ó 1.

$OFMi$ : es la medida del factor objetivo para el lugar  $i$ .

$$0 \leq OFMi \leq 1 \text{ y } \sum_i OFMi = 1$$

$SFMi$ : es la medida del factor subjetivo para el lugar  $i$ .

$$0 \leq SFMi \leq 1 \text{ y } \sum_i SFMi = 1$$

$X$ : es el peso de decisión del factor objetivo ( $0 \leq X \leq 1$ )

La medida del factor crítico ( $CFMi$ ) es la suma de los productos de los índices de los factores críticos individuales para el lugar  $i$ , respecto al factor crítico  $j$ .

Como el índice del factor crítico para cada lugar es 0 ó 1, dependiendo de que el lugar sea adecuado o no para el factor si cualquier índice del factor crítico es 0, entonces  $CFMi$  y la medida total de ubicación ( $LMi$ ) también tienen valor 0.

En tal caso se eliminaría el lugar  $i$ .

### **6.1 Ejercicio resuelto**

La empresa General Motors está pensando en construir una nueva planta productiva, para lo cual cuenta con varias alternativas de localización en ciudades europeas. Para decidirse entre ellas ha recabado la siguiente información (recogida en las tablas que se muestran) y considera que el peso relativo entre factores objetivos y subjetivos es de  $\alpha = 0,5$ .

Factores Críticos			
Ciudad	Población	Infraest Industrial	Red de Comunicaciones
1	1	1	1
2	0	1	0
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	0	

Factores Objetivos					
Ciudad	Costo Construcción	Costo de transporte	Carga impositiva	Costo de mantenim.	Total
1	7.5	1.0	1.0	0.5	10.0
2	6.5	1.5	0.5	0.75	9.25
3	7.0	1.25	0.5	0.7	9.45
4	7.25	0.75	0.75	0.5	9.25
5	6.0	1.0	0.75	0.65	8.4

Factores Subjetivos					
Ciudad	Clima	Infraest. de servicios	Infraest. educat.iva	Capacitación de la fuerza de trabajo	Total
1	2	1	1	5	9
2	1	3	2	4	10
3	4	5	3	3	15
4	3	4	4	2	13
5	5	2	5	1	13

Solución:

C	FC	FO	FS	ILi = FCi [ $\alpha$ FOi + (1- $\alpha$ ) FSi]
1	1·1·1=1	10 /10= 1	9/20 = 0,45	1·[0,5·1+0,5·0,45]=0,725
2	0·1·0=0	9,25/10=0.925	10/20 =0,50	0· [0,5·0,925+0,5·0,5]=0
3	1·1·1=1	9,45/10=0.945	15/20 =0,75	1· [0,5·0,945+0,5·0,75]=0,8475
4	1·1·1=1	9,25/10=0.925	13/20=0,65	1· [0,5·0,925+0,5·0,65]=0,7875
5	1·0·1=0	8,4/10=0.84	13/20=0,65	1· [0,5·0,84+0,5·0,65]=0

Por lo que se recomienda construir la nueva planta productiva en la Ciudad 1 teniendo en cuenta que es la que tiene el menor ILi diferente de cero.

## **6.2 Ejercicio propuesto**

El desarrollo de la construcción de viviendas y otros tipos de edificaciones en los próximos años determina un incremento en la demanda de cemento por lo que se ha decidido la construcción de una nueva planta ya que las existentes actualmente en el país no satisfacen la demanda prevista y no es posible incrementar sus respectivas capacidades. Para la construcción de esta nueva planta productiva se ha pensado en tres alternativas de localización en diferentes ciudades del país. La decisión debe sustentarse en la información recopilada por un equipo de trabajo mostrada en las tablas siguientes, se considera que el peso de los factores objetivos es de  $\alpha = 0.6$  y el de los subjetivos es de  $\alpha = 0.4$ .

### **Factores Críticos**

Ciudad	Población	Infraestructura	Red de
--------	-----------	-----------------	--------

		<b>industrial</b>	<b>comunicaciones</b>
1	1	1	1
2	0	1	0
3	1	1	1

**Factores Objetivos**

<b>Ciudad</b>	<b>Costo de construcción</b>	<b>Costo de transporte</b>	<b>Costo de montaje</b>	<b>Costo de Mantenimiento</b>
1	7500.0	900.0	700.0	690.0
2	6500.0	850.0	880.0	550.0
3	1100.0	1200.0	450.0	950.0

**Factores Subjetivos**

<b>Ciudad</b>	<b>Cercanía a fuentes de abastecimiento</b>	<b>Infraestructura de servicios</b>	<b>Cercanía a mercados potenciales</b>	<b>Disponibilidad de mano de obra</b>
1	4	5	3	3
2	3	4	4	2
3	5	2	5	1

Determine la mejor alternativa de localización teniendo en cuenta la información suministrada.

## **Bibliografía**

- 1 Buffa, E. L. & Sarin, R. G. (1984). Administración de Producción (3ª Ed.). Editorial El Ateneo, Buenos Aires, Argentina.
- 2 Chase, R. B. & Aquilano, N. J. (2001). Administración de Producción y Operaciones. Manufactura y Servicios (8ª Ed.). McGraw-Hill Interamericana, S.A., Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- 3 Domínguez Machuca, J. A. (1995). Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos. Editorial Ariel, S.A., Barcelona, España.
- 4 Everet, E. A. (1991). Administración de la Producción y las Operaciones. Conceptos, Modelos y Funcionamiento. Prentice- Hall Hispanoamericana S.A, México.
- 5 Fernández Sánchez, E. (1993). Dirección de la Producción I. Fundamentos Estratégicos. Editorial Civitas, S.A., España
- 6 Gaither, N. & Frazier, G. (2000). Administración de la Producción y Operaciones. Editores Internacional Thomson, México.
- 7 Heizer, J. & Render, B. (1997). Dirección de la Producción. Decisiones Estratégicas (4ª Ed.) Prentice- Hall Iberia, Madrid, España.
- 8 Krajewski, L. J. & L. P. Ritzman. (2000). Administración de Operaciones. Estrategia y Análisis (5ª Ed.). Editora Pearson educación. México.
- 9 Pérez Goróstegui, E. (1990). Economía de Empresa (Introducción). Editorial centro de Estudios Ramon Areces, S.A, España.
- 10 Render, B. & Heizer. (1996). Principios de la Administración de Operaciones. Pretice-Hall Hispanoamericana, S.A., México.
- 11 Salvendy, G. (1982). Handbook of Industrial Engineering. Editorial Pueblo y Educación, Cuba.
- 12 Schroeder , R. (1992). Administración de Operaciones (3ª Ed.) McGraw-Hill Interamericana de México.
- 13 Vallhonrat, Josep M & Corominas, Albert. (1991). Localización, distribución en planta y manutención. FOINSA. Barcelona. España.