

Tema 5

LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES.

Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos

Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C.

Curso 04 / 05

TEMA 5.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 LA IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES DE LOCALIZACIÓN..	3
1.2 LAS DECISIONES DE LOCALIZACIÓN: SUS CAUSAS Y SUS TIPOS	5
1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA TOMA DE DECISIONES DE LOCALIZACIÓN.....	7
1.4 TENDENCIAS Y ESTRATEGIAS FUTURAS EN LOCALIZACIÓN	10
2 MÉTODOS DE SELECCIÓN DE LOCALIZACIÓN.....	12
2.1 FACTORES PONDERADOS.	12
2.2 CENTRO DE GRAVEDAD.....	13
2.3 ANÁLISIS ECONÓMICO.	14
2.4 PROBLEMA DEL TRANSPORTE.....	21
2.5 PROBLEMA DE CUBRIMIENTO.	24

1 INTRODUCCIÓN

Las empresas desarrollan sus operaciones en instalaciones de diverso tipo: plantas de transformación y/o de ensamble, almacenes para materiales y componentes o para productos terminados, puntos de venta y/o de asistencia postventa, oficinas, etc. En la configuración de las mismas convergen un conjunto de decisiones distintas, pero a la vez muy interrelacionadas, algunas de las cuales ya han sido abordadas en capítulos anteriores. Así, el **tipo** de instalaciones se determina fundamentalmente, en función del *producto* (a fabricar, a almacenar o a vender en ella) o del *servicio* a ofrecer, así como del *proceso* productivo o la *tecnología* a emplear. Por otra parte, el **tamaño** de las instalaciones dependerá de la cantidad de producto o servicio a obtener; en definitiva, de la *capacidad* necesaria. Una cuestión adicional relacionada con las instalaciones es la elección del **lugar** en el que habrán de estar ubicadas, así como la **distribución en planta**. Con ello quedarán analizadas las principales cuestiones que afectan a las instalaciones, a saber: ¿qué tipo de instalaciones se necesitan?, ¿qué tamaño han de tener?, **¿dónde deben estar ubicadas?** y ¿cuál debe ser la distribución interna de los elementos?.

Las decisiones de localización forman parte del proceso de formulación estratégica de la empresa. Una buena selección puede contribuir a la realización de los objetivos empresariales, mientras que una localización desacertada puede conllevar un desempeño inadecuado de las operaciones. En este capítulo estudiaremos el papel que éstas juegan como parte del Diseño del Subsistema de Operaciones, el proceso de toma de decisiones de localización y los factores más importantes que la afectan.

1.1 LA IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES DE LOCALIZACIÓN

La selección del emplazamiento en el que se van a desarrollar las operaciones de la empresa es una decisión de gran importancia. Aunque, como ya hemos apuntado, se trate generalmente de una decisión infrecuente, la significación de su impacto y

las implicaciones que se derivan de ella justifican una atención y consideración adecuada por parte de la Dirección. Además, el carácter infrecuente hace que muchos directivos no estén habituados a afrontar este tipo de cuestiones (muchos de ellos no lo han hecho nunca o acaso una sola vez a lo largo de su carrera), y las interrelaciones con otras decisiones, ya de por sí complejas dificultan la comprensión de la verdadera importancia que tienen.

Esta importancia viene justificada por dos razones principales. En primer lugar las decisiones de localización de instalaciones *entrañan una inmovilización considerable de recursos financieros a largo plazo*, pues las instalaciones son generalmente costosas, sobre todo si se trata de sofisticadas plantas de fabricación. Una vez construidas la inversión efectuada no es recuperable sin sufrir graves perjuicios económicos (algunos de los costes en que se incurre no son realizables), y ello además del tiempo y el esfuerzo empleados. Por tanto, se trata de una decisión rígida que compromete a la empresa durante un largo periodo de tiempo; no obstante, en algunos casos, la firma puede optar por instalaciones menos costosas o por alquilarlas, lo cual permite restar rigidez a esta decisión.

En segundo lugar, son decisiones que *afectan a la capacidad competitiva de la empresa*; así, una buena elección favorecerá el desarrollo de las operaciones de forma eficiente y competitiva, mientras que una incorrecta impondrá considerables limitaciones a las mismas. *Todas las áreas de la empresa pueden verse afectadas por la localización*, no sólo el área de Operaciones, sino también la función Comercial, la de Personal, la Financiera, etc. Por otro lado, hay que tener presente que las consecuencias negativas de una mala localización no resultan siempre evidentes, pues suelen manifestarse en forma de costes de oportunidad por tanto, no vienen recogidas en los informes tradicionales de las empresa. La influencia de la localización sobre la competitividad no sólo procede de su influencia sobre los costes, sino también sobre los ingresos de la empresa. Es evidente que, para las empresas de servicios, la proximidad a los mercados es crítica para determinar la capacidad de atraer clientes, en cambio en empresas fabriles, la localización de las instalaciones en relación con el mercado influye sobre el tiempo

de entrega de los productos y el nivel de servicio a consumidores, lo cual afecta a su vez al volumen de ventas. Por lo que respecta a los costes, la localización puede influir en una gran diversidad de ellos (sirve como ejemplo, los derivados de los terrenos, de la mano de obra, de las materias primas o los de distribución y transporte).

1.2 LAS DECISIONES DE LOCALIZACIÓN: SUS CAUSAS Y SUS TIPOS

En general, las decisiones de localización podrían catalogarse de infrecuentes; de hecho algunas empresas sólo la toman una vez en su historia.

La frecuencia con que se presenta este tipo de problemas depende de varios factores, entre ellos podemos citar el tipo de instalaciones (es mucho más común en las tiendas o puntos de venta que en fábricas) o el tipo de empresa (las de servicios suelen necesitar más instalaciones que las industriales).

Entre las diversas causas que originan problemas ligados a la localización, podríamos citar:

- *Un mercado en expansión*, que requerirá añadir nueva capacidad, la cual habrá que localizar, bien ampliando las instalaciones ya existentes en un emplazamiento determinado, bien creando una nueva en algún otro sitio.
- *La introducción de nuevos productos o servicios*, que conlleva una problemática análoga.
- *Una contracción de la demanda*, que puede requerir el cierre de instalaciones y/o la reubicación de las operaciones. Otro tanto sucede cuando se producen *cambios en la localización de la demanda*.
- *El agotamiento de las fuentes de abastecimiento* de materias primas también puede ser causa de la relocalización de las operaciones. Este

es el caso que se produce en empresas de extracción cuando, al cabo de los años, se agotan los yacimientos que se venían explotando.

- *La obsolescencia* de una planta de fabricación por el transcurso del tiempo o por la aparición de nuevas tecnologías, que se traduce a menudo en la creación de una nueva planta más moderna en algún otro lugar.
- La presión de la *competencia*, que, para aumentar el nivel de servicio ofrecido, puede llevar a la creación de más instalaciones o a la relocalización de algunas existentes.
- *Cambios en otros recursos*, como la mano de obra o los componentes subcontratados, o en las *condiciones políticas o económicas* de una región son otras posibles causas de relocalización.
- *Las fusiones y adquisiciones entre empresas* pueden hacer que algunas resulten redundantes o queden mal ubicadas con respecto a las demás. Este es el caso reciente de algunos de los grandes bancos españoles, que están reordenando sus redes de oficinas tras los procesos de fusiones que han vivido.

Los motivos mencionados son sólo algunos de los que pueden provocar la toma de decisiones sobre las instalaciones o, al menos, llevar a la empresa a reexaminar la localización de las mismas. Independientemente de cuáles sean las razones que lleven a ello, **las alternativas de localización pueden ser de tres tipos**, las cuales deberán ser evaluadas por la empresa antes de tomar una decisión definitiva:

- *Expandir una instalación existente*. Esta opción sólo será posible si existe suficiente espacio para ello. Puede ser una alternativa atractiva cuando la localización en la que se encuentra tiene características muy adecuadas o deseables para la empresa. Generalmente origina menores costes que otras opciones, especialmente si la expansión fue prevista cuando se estableció inicialmente la instalación.

- *Añadir nuevas instalaciones en nuevos lugares.* A veces ésta puede resultar una opción más ventajosa que la anterior (por ejemplo si la expansión provoca problemas de sobredimensionamiento o de pérdida de enfoque sobre los objetivos de las operaciones). Otras veces es, simplemente, la única opción posible. En todo caso, será necesario considerar el impacto que tendrá sobre el sistema total de instalaciones de la empresa.
- *Cerrar instalaciones en algún lugar y abrir otra(s) en otro(s) sitio(s).* Esta opción puede generar grandes costes, por lo que la empresa deberá comparar los beneficios de la relocalización con los que se derivarían del hecho de permanecer en el lugar actualmente ocupado.

1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA TOMA DE DECISIONES DE LOCALIZACIÓN

Como hemos podido constatar, la elección de una localización es una decisión compleja en la mayoría de los casos tanto en sí misma como por sus interrelaciones aunque es cierto que, para algunas empresas la localización viene determinada por un actor dominante que restringe el número de alternativas, en general, la cantidad de factores involucrados en el análisis es enorme.



Centrándonos en el enfoque formal vamos a describir un procedimiento típico. Partiremos del momento en que ha sido detectada la necesidad de localizar una nueva instalación o de relocalizar una ya existente, tras haber desechado otras posibles soluciones. Determinada y justificada la necesidad de iniciar un estudio de localización, *el primer paso será la constitución de un equipo multifuncional* encargado de realizar el estudio. En él tendrán cabida representantes de las principales áreas de la empresa, ya que todas ellas se van a ver afectadas por la decisión (Operaciones, Ingeniería, Personal, Marketing, Finanzas, etc.). En dicho estudio será necesaria gran cantidad de información, buena parte de la cual no estará contenida o elaborada en los sistemas de información de la empresa, por lo que será necesario acudir a otras fuentes, tales como publicaciones especializadas, agencias gubernamentales, cámaras de comercio, entidades financieras, consultores, agencias de transporte, etc. También habrá que considerar la visita a posibles lugares de emplazamiento, pues la observación directa permitirá apreciar elementos subjetivos que pueden ser importantes en la decisión final.

Cuando las alternativas potenciales se extienden a regiones o países diferentes, la decisión se habrá de sistematizar en niveles geográficos. En este sentido, suelen distinguirse dos o tres niveles, según los autores, aunque la diferencia es más bien de forma que de contenido. Así, los que optan por *tres niveles* distinguen el nivel *regional/internacional*, el de la *comunidad o ciudad* y el del *lugar concreto*, mientras que los que distinguen dos, hablan de *macroanálisis*, o evaluación de países, regiones, comunidades o ciudades, y *microanálisis*, o evaluación de emplazamientos específicos. En cualquiera de los niveles mencionados. el procedimiento de análisis de la localización abarcaría las siguientes fases:

- a) **Análisis preliminar.** Se trataría aquí de estudiar las estrategias empresariales y las políticas de las diversas áreas (Operaciones, Marketing, etc.), para traducirlas en requerimientos para la localización de las instalaciones. Dada la gran cantidad de factores que afectan a la localización, cada empresa deberá determinar cuáles son los criterios importantes en la evaluación de las alternativas: necesidades de transporte, suelo, suministros, personal, infraestructuras, servicios, condiciones medioambientales, etc. El equipo de localización deberá evaluar la importancia de cada factor, distinguiendo entre los factores dominantes y los factores secundarios. Los primeros son imprescindibles y los segundos son deseables.
- b) **Búsqueda de alternativas de localización.** Se establecerá un conjunto de localizaciones candidatas para un análisis más profundo, rechazándose aquellas que claramente no satisfagan los factores dominantes de la empresa (por ejemplo: existencia de recursos, disponibilidad de mano de obra adecuada, mercado potencial, clima político estable, etc.).
- c) **Evaluación de alternativas (análisis detallado).** En esta fase se recoge toda la información acerca de cada localización para medirla en función de cada uno de los factores considerados.

- d) **Selección de la localización.** A través de análisis cuantitativos y/o cualitativos se compararán entre sí las diferentes alternativas para conseguir determinar una o varias localizaciones válidas. Dado que, en general habrá una alternativa que sea mejor que todas las demás en todos los aspectos, el objetivo del estudio no debe ser buscar una localiza óptima sino una o varias localizaciones aceptables. En última instancia otros factores más subjetivos, como pueden ser las propias preferencias de la Dirección, determinarán la localización definitiva.

Como indicamos anteriormente, cuando el estudio se hace en niveles toda esta secuencia se repetirá en cada uno de ellos, pudiendo variar los factores relevantes según el nivel geográfico al que se hace referencia. Las alternativas válidas resultantes en un nivel servirán de punto de partida en la etapa siguiente; así, por ejemplo, las regiones aceptables serán el límite geográfico para la búsqueda de comunidades o ciudades a analizar. No obstante, muchas veces puede resultar conveniente combinar las fases de comunidades y lugares concretos ya que, a menudo, los factores a considerar en ambas están muy interconectados.

Para establecer si *un factor* debe considerarse en una determinada etapa de análisis, éste *deberá ser* a la vez *diferenciado y significativo*, esto es, sensible al nivel de agregación geográfica que se analiza y con un impacto considerable sobre los costes, los ingresos o la posición estratégica de la empresa

1.4 TENDENCIAS Y ESTRATEGIAS FUTURAS EN LOCALIZACIÓN

Es obvio que la mayoría de los factores de localización no permanecen inalterables en el tiempo sino, más bien, todo lo contrario. El acelerado ritmo con el que se producen cambios en el entorno, una de las notas dominantes de la actualidad, está provocando que las decisiones de localización sean hoy mucho más comunes. En este apartado pretendemos tan sólo apuntar algunos de los cambios que están marcando dichas decisiones en nuestros días.

Uno de los fenómenos más importantes que estamos viviendo es la *creciente internacionalización de la economía*. Las empresas están traspasando fronteras para competir a nivel global. Las localizaciones en otros países distintos del de origen están a la orden del día para las grandes empresas. Aparecen nuevos mercados y se unifican otros. Todo ello intensifica la presión de la competencia, hace que los factores logísticos sean más complejos e importantes y que las empresas se vean obligadas a reexaminar la localización de sus instalaciones para no perder competitividad.

Al mismo tiempo, la *automatización de los procesos* en algunas industrias está contribuyendo a la pérdida de importancia del factor coste de la mano de obra y, por tanto, a hacer menos atractivos aquellos países o regiones con bajo nivel salarial; en cambio, la cualificación, la flexibilidad y la movilidad de la mano de obra están cobrando mayor significación. No obstante, el coste del factor trabajo sigue siendo un factor fundamental en algunas industrias y también en algunas fases de los procesos de fabricación de otras que, debido a ello, están trasladándose de los países desarrollados a otros como México, Taiwan, Singapur, etc.

Otro aspecto destacado de nuestros días es la *mejora de los transportes y el desarrollo de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones*, lo cual está ayudando a la internacionalización de las operaciones y está posibilitando una mayor diversidad geográfica en las decisiones de localización. Esto, unido al mayor énfasis de la competencia en el servicio al cliente, el contacto directo, el rápido desarrollo de nuevos productos, la entrega rápida, etc., se está traduciendo en una tendencia a la localización cercana a los mercados. En lo que a la fabricación se refiere, gracias a las tecnologías flexibles las empresas pueden optar por instalar plantas más pequeñas y numerosas.

La adopción de sistemas JIT en algunas industrias está obligando a las empresas proveedoras y clientes a localizarse en una zona próxima para poder reducir los tiempos de transporte y realizar entregas frecuentes

2 MÉTODOS DE SELECCIÓN DE LOCALIZACIÓN.

Debido a la gran cantidad de factores involucrados en el análisis y selección de la localización, y añadiendo la posibilidad de plantear un gran número de posibles localizaciones a priori nos lleva a plantear la utilización de más de un método para decidir la localización idónea de una instalación.

Se denomina *macroanálisis* a la evaluación de opciones de región, subregión y de comunidad, mientras que el *microanálisis* se refiere a la evaluación de lugares específicos de la comunidad seleccionada.

A continuación detallamos algunas de las técnicas más utilizadas:

2.1 FACTORES PONDERADOS.

Ponderar los factores es una manera de asignar valores cuantitativos a todos los factores relacionados con cada alternativa de decisión y de derivar una calificación compuesta que puede ser usada con fines de comparación. Esto lleva al decisor a incluir sus propias preferencias al decidir la ubicación, y puede conjugar ambos factores cuantitativos y cualitativos.

La metodología de aplicación se puede estructurar en los siguientes pasos:

1. Identificar los factores relevantes para la decisión
2. Asignar una ponderación a cada factor para indicar su importancia relativa
3. Asignar una escala común a cada factor
4. Calificar cada lugar potencial de acuerdo a la escala diseñada, y multiplicar las calificaciones por las ponderaciones
5. Sumar los puntos de cada ubicación, y escoger la ubicación que tenga más puntos.

Ejemplo:

Factores	Peso Relativo (%)	Alternativas		
		A	B	C
Proximidad a proveedores	30	7	7	10
Costes laborales	30	5	9	7
Transportes	20	9	6	6
Impuestos	15	6	6	7
Costes instalación	5	7	8	2
Puntuación total	100	6,65	7,3	7,45

Aplicando $P_i = \sum w_j \cdot P_{ij}$ se obtienen los valores de la tabla.

2.2 CENTRO DE GRAVEDAD.

HiOctane Refinery Company necesita ubicar una instalación de almacenamiento intermedia entre su planta de refinamiento en Long Beach 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)
Long Beach	(325, 75)	1500
Anaheim	(400, 150)	250
LaHabra	(450, 350)	450

Glendale	(350, 400)	350
Thousand Oaks	(25, 450)	450

Solución.

Utilizando el método del centro de gravedad, cuyas fórmulas son:

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

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

sustituyendo valores:

$$C_x = \frac{(325 \cdot 1.500) + (400 \cdot 250) + (450 \cdot 450) + (350 \cdot 350) + (25 \cdot 450)}{1.500 + 450 + 250 + 350 + 450} = \frac{923,75}{3,0} = 307,9$$

$$C_y = \frac{(75 \cdot 1.500) + (150 \cdot 250) + (350 \cdot 450) + (400 \cdot 350) + (450 \cdot 450)}{1.500 + 450 + 250 + 350 + 450} = \frac{650}{3,0} = 216,7$$

A partir de estos valores, se podría plantear la ubicación definitiva en lugares próximos al punto calculado.

2.3 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Cualquier organización trabaja con presupuestos limitados, con lo cual están económicamente presionadas para controlar costes. Las ubicaciones probables pueden ser comparadas desde un punto de vista económico por una estimación de los costos fijos y variables y entonces calcularlos para un volumen representativo en cada ubicación.

El análisis del punto de equilibrio para decidir ubicaciones se aplica a situaciones específicas de un producto (o línea de productos). Si están implicados varios productos, los efectos de sus respectivos costes y volúmenes deben ser apropiadamente ponderados. Este análisis también presupone que los costes fijos permanecen constantes y que los costes variables permanecen lineales. Si el volumen esperado es muy cercano al punto de intersección de dos localizaciones, otros factores pueden influir más que los costes.

Se pueden plantear dos situaciones teniendo en cuenta si los ingresos dependen o no del lugar de ubicación de la instalación:

2.3.1 Ingresos independientes de la ubicación.

En este caso no es necesario tener en cuenta los ingresos y podemos operar directamente con los costes. Para ello, los pasos a seguir son:

1. Determinar los costes relevantes que varían con la ubicación
2. Clasificar los costes en cada ubicación en costos fijos anuales y costos variables por unidad producida
3. Representar los costes asociados con cada ubicación en una gráfica de coste anual frente a volumen anual.
4. Seleccionar la localización con el menor coste total y con el volumen de producción deseado.

Ejemplo:

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 costes que se detallan a continuación:

Costes fijos

Sitios a elegir

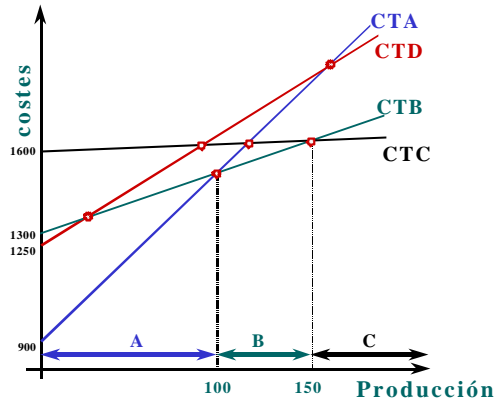
	A	B	C	D
Alquileres	140	200	300	250
Impuestos	100	300	400	300
Producción	360	400	500	350
Otros	300	400	400	350
Totales	900	1300	1600	1250

Costes variables

Sitios a elegir

	A	B	C	D
Materiales	5	3	4	5
Mano de Obra	6	5	8	8
Transportes	7	6	2	3
Otros	3	3	1	3
Totales	21	17	15	19

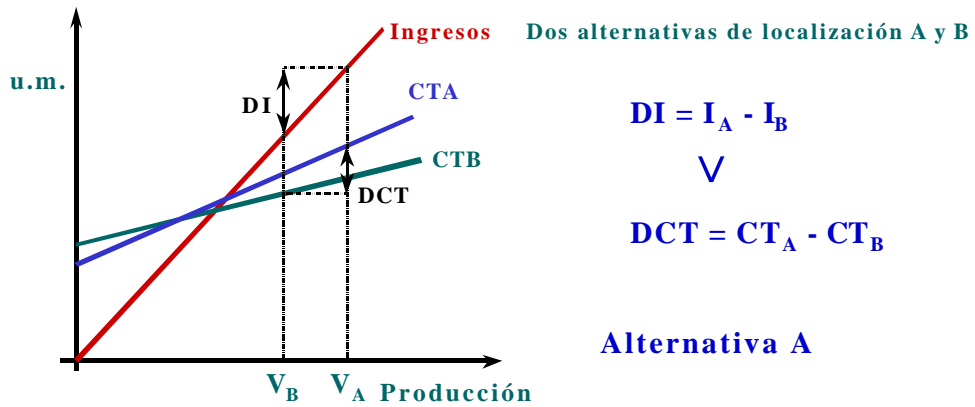
Representando gráficamente los datos se obtiene:



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

2.3.2 Ingresos dependientes de la ubicación.

Si los ingresos por unidad varían de una localización a otra, los valores de ingresos deben ser incluidos, y las comparaciones deben ser hechas con base en ingresos totales menos costes totales en cada ubicación.



2.3.3 Beneficios dependientes de la localización.

El problema de la selección de la zona idónea para implantar una factoría (cuya producción cubra varias zonas de mercado) optimizando el máximo beneficio se puede resolver utilizando la programación matemática como herramienta.

Una descripción muy simple del problema que muestra la utilización de las variables bivalentes (adquieren valores 0, 1) es la siguiente: en una zona del mercado, en la que una empresa comercializa un producto, hay necesidad de implantar una nueva factoría (aunque podrían ser más sin que sustancialmente se modifique el modelo) existiendo tres posibles localizaciones, las cuales a su vez abastecen subzonas territoriales centralizadas en dos clientes o depósitos en la subzona 1, tres clientes en la zona 2 y un cliente en la zona 3. Los datos necesarios son los costos fijos (CF_j) de creación y mantenimiento de la planta en cada una de las tres posibles localizaciones, siendo éstos:

$$CF_1, CF_2, CF_3$$

Otro dato necesario son los beneficios unitarios (B_{ij}) que se obtendrían de cada uno de los seis clientes sirviendo el producto desde cada una de las tres posibles localizaciones; dichos beneficios son: B_{1j} , B_{2j} y B_{3j} , respectivamente para las localizaciones 1, 2 y 3 y para $j = 1, 2, \dots, 6$.

En el beneficio B_{ij} (que desde algunas localizaciones puede ser nulo) se incluye el precio del artículo (que puede variar de unas zonas a otras), los costos de transporte de i a j , los costos de fábrica en cada factoría, etc. Aunque puede haber más determinantes, éstos son los datos esenciales para el problema.

La función a optimizar es:

$$\text{Max. } Z = \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 \left[\max(0, B_{ij}) \right] * d_i \right) - \sum_{i=1}^3 CF_i * d_i$$

donde se recoge el beneficio bruto a conseguir por cada unidad vendida, de tal forma que, si el beneficio unitario desde la factoría i al cliente o depósito j es negativo, se toma el valor nulo; así como los gastos fijos de cada factoría.

Como se puede observar, los factores del primer término del segundo miembro están multiplicados por la variable δ_i para $i = 1, 2, 3$, que sólo puede valer 0 ó 1 y que representa la implantación ($\delta_i = 1$) o no ($\delta_i = 0$) de la factoría en la localización i , siendo:

$$B_{ij} * \delta_i$$

el beneficio a conseguir en el cliente j sirviendo el artículo desde la localización i ; si esta localización no es seleccionada ($\delta_i = 0$) el beneficio será nulo para la hipótesis ij .

También en la función objetivo, está recogida la posibilidad de que los costos fijos en la localización i sean nulos si esta localización no es seleccionada ($\delta_i=0$).

La condición fundamental de este problema (que sólo se seleccione una localización para la factoría) se recoge en la ecuación:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$$

siendo

$$0 \leq \delta_i \leq 1 \text{ para } i = 1, 2, 3 \text{ una variable bivalente.}$$

Ejemplo de problema de cubrimiento.

Una empresa se plantea la ubicación de centros de distribución para dar servicio a sus clientes, que residen en 6 ciudades diferentes.

Es posible ubicar almacenes en cualquiera de las 6 ciudades.

El objetivo de la empresa es dar un servicio que no exceda de 15 minutos desde que se recibe el pedido hasta que el producto llega a su punto de destino.

Se ha realizado un estudio de tiempos de servicio en función de los puntos de origen y destino.

Tiempo necesario para servir desde C_i a C_j

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0	10	20	30	30	20
C2	10	0	25	35	20	10
C3	20	25	0	15	30	20
C4	30	35	15	0	15	25
C5	30	20	30	15	0	14
C6	20	10	20	25	14	0

Se trata de definir el número óptimo de almacenes y su localización de manera que se dé el servicio deseado.

Solución.

Función Objetivo: $\text{Min } Z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$

Restricciones:

$$x_1 + x_2 \geq 1 \quad \text{Ciudad 1}$$

$$x_1 + x_2 + x_6 \geq 1 \quad \text{Ciudad 2}$$

$$x_3 + x_4 \geq 1 \quad \text{Ciudad 3}$$

$$x_3 + x_4 + x_5 \geq 1 \quad \text{Ciudad 4}$$

$$x_4 + x_5 + x_6 \geq 1 \quad \text{Ciudad 5}$$

$$x_2 + x_5 + x_6 \geq 1 \quad \text{Ciudad 6}$$

$$x_i = 0, 1 \quad i=1,2,3,4,5,6$$

Ejemplo del problema de cubrimiento con limitación de instalaciones.

Se ha dividido Valencia en 8 distritos. En la tabla siguiente se muestra el tiempo en minutos que tarda una ambulancia en viajar de un distrito a otro. La población (en miles de habitantes) de cada distrito es la siguiente: distrito 1, 80; distrito 2, 60; distrito 3, 70; distrito 4, 40; distrito 5, 30; distrito 6, 100; distrito 7, 90; distrito 8, 120. La ciudad dispone sólo de 2 ambulancias y quiere colocarlas de tal manera que se maximice el número de personas que vivan, a menos de 2 minutos, de una ambulancia.

Districto	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	3	4	6	8	9	8	10
2	3	0	5	4	8	6	12	9
3	4	5	0	2	2	3	5	7
4	6	4	2	0	3	2	5	4
5	8	8	2	3	0	2	2	4
6	9	6	3	2	2	0	3	2
7	8	12	5	5	2	3	0	2
8	10	9	7	4	4	2	2	0

2.4 PROBLEMA DEL TRANSPORTE.

El transporte no añade valor al producto más que la disponibilidad. Sin embargo, los costes de transporte de materias primas y productos terminados son regularmente

significantes y merecen un análisis especial. Antes de decidir el lugar de ubicación de una planta, la dirección de la empresa puede desear saber qué plantas serán usadas para producir qué cantidades y cuál será la distribución de los almacenes a los que será enviada la producción.

Si el problema de ubicación puede ser formulado como un problema de reducción de costes de transporte, sujeto a la necesidad de satisfacer los requerimientos de la oferta y la demanda, la programación lineal puede ser muy útil a través del método del transporte.

Ejemplo:

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

1	2	3
45.000 unidades	93.000 uds.	60.000 uds.

También dispone de 3 centros de distribución con capacidades:

A	B	C
28.000 unidades	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 costes de transporte entre las diferentes ubicaciones son:

	A	B	C	D	E
--	----------	----------	----------	----------	----------

LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

1	8	12	2	6	15
2	13	4	3	10	4
3	0	7	11	8	7

Solución:

Ubicar en D. Coste: 842.000 ud.

	A	B	C	D	Producción
1	8	12	7.000 2	38.000 6	45.000
2	13	65.000 4	28.000 3	10	93.000
3	28.000 0	7	11	32.000 8	60.000
Necesidades	28.000	65.000	35.000	70.000	

Ubicar en E. Coste: 768.000 ud.

	A	B	C	E	Producción
1	8	10.000 12	35.000 2	15	45.000
2	13	55.000 4	3	38.000 4	93.000
3	28.000 0	7	11	32.000 7	60.000
Necesidades	28.000	65.000	35.000	70.000	

Luego la solución más económica es ubicar el centro en E con un coste asociado de transporte de 786.000 unidades monetarias.

2.5 PROBLEMA DE CUBRIMIENTO.

En la localización de servicios, principalmente, se puede presentar el problema de determinar cuántas instalaciones hay que disponer y dónde, con la condición de que todo cliente o usuario se encuentre a una distancia no superior a una dada de alguna de las instalaciones y con el objetivo de minimizar el número de instalaciones o su coste.

La resolución de este problema, en el caso general, no es fácil y exige la utilización de técnicas tales como la programación lineal binaria o los procedimientos de separación y acotación. Pero cuando no es de grandes dimensiones se puede hallar la solución óptima sin gran esfuerzo, a veces por simple enumeración o a lo sumo con la ayuda de alguna consideración sencilla.

2.5.1 Cubrimiento. (sin limitación de instalaciones)

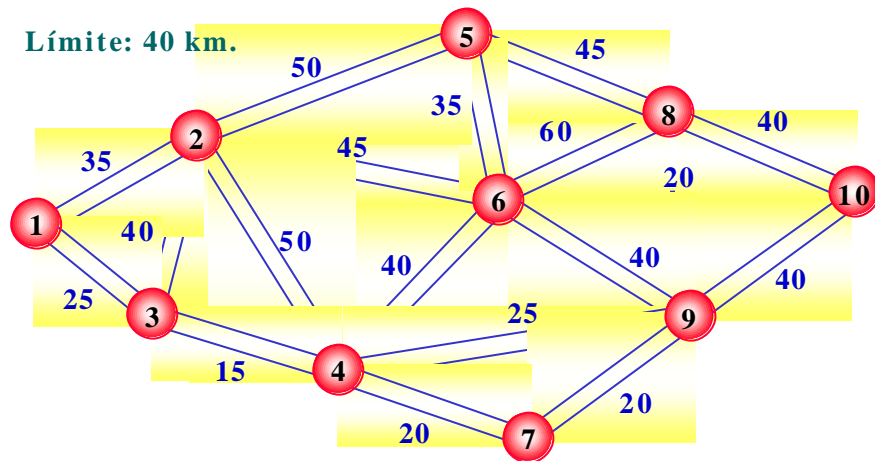
El ejemplo siguiente intenta determinar el número (que se desea minimizar) y la localización de unos centros de asistencia técnica para los clientes de un fabricante de equipos industriales de forma que ningún cliente se encuentre a más de 40 km. del centro de asistencia más próximo.

El ejemplo podría resolverse enumerando las combinaciones de 1, 2, ... elementos hasta encontrar una cualquiera que cumpliera con la condición expresada. Este procedimiento se haría prohibitivo, a poco que aumentaran las dimensiones del problema.

Una idea que ya permite resolver problemas de mayor envergadura es la siguiente: para cada núcleo de población se establece una lista de emplazamientos desde los que el núcleo podría ser servido; a continuación se determina para cuales de dichas listas no existe en la tabla ninguna otra lista que sea subconjunto propio de las mismas.

Es condición necesaria y suficiente, para que una lista de emplazamientos sea una solución del problema, que contenga al menos de cada una de las listas marcadas.

Normalmente serán elegidos aquellos emplazamientos que figuren en un mayor número de listas.



Nota: los lugares 5 y 9 no tienen disponibilidad de ubicación.

Solución:

Núcleo	Puede recibir servicio desde:				
1	1	2	3	4	
2	1	2	3		
3	1	2	3	4	7
4	1	3	4	6	7
5	6				

6	4	6	10		
7	3	4	7		
8	8	10			
9	3	4	6	7	10
10	6	8	10		

Ahora se determinan aquellas listas que son subconjunto de otra-s, estas son:

Núcleo	Puede recibir servicio desde:		
2	1	2	3
5	6		
7	3	4	7
8	8	10	

De donde se obtienen, entre otras, las soluciones:

3, 6, 8 y 3, 6, 10

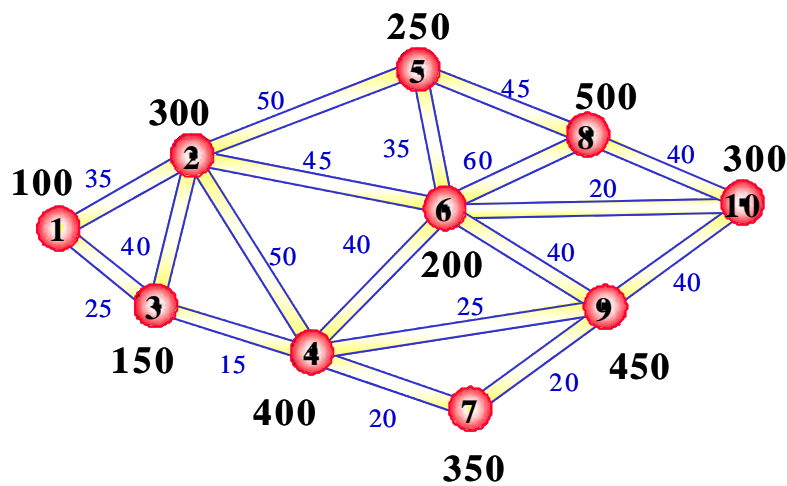
2.5.2 Cubrimiento (con limitación de instalaciones)

Imagine que únicamente puede ubicar 2 centros de distribución y sigue necesitando respetar la distancia límite de 40 kilómetros.

Suponiendo que las localidades 5 y 9 no tienen la posibilidad de albergar un centro de distribución.

Una variante del problema anterior es considerar el número de centros como fijo. Se trata entonces de determinar los emplazamientos que permiten cubrir la máxima

clientela potencial (es decir, se trata de maximizar el número de clientes potenciales situados a una distancia no mayor que una dada). La figura siguiente reproduce el gráfico de la figura previa pero incluye junto al círculo representativo de cada núcleo de población el número de clientes potenciales que le corresponde.



Un algoritmo heurístico muy sencillo permite hallar rápidamente una solución aproximada. Consiste en lo siguiente: en cada iteración se elige un emplazamiento no elegido anteriormente, con el criterio de que sea aquel a que corresponde un mayor incremento en la clientela potencial cubierta, en relación a la ya cubierta en los emplazamientos anteriores; el algoritmo finaliza cuando el número de emplazamientos elegidos es igual al previamente fijado o cuando con los emplazamientos elegidos se cubre toda la clientela potencial.

En el problema ejemplo:

Núcleo	Cobertura
1	950
2	550

3	1750
4	1650
5	No posible
6	1600
7	1350
8	800
9	No posible
10	1450

De los centros posibles se selecciona el **3** por ofrecer mayor cobertura.

Ahora se trata de identificar otra localización siguiendo la heurística anterior:

Núcleo	Cobertura
1	--
2	--
3	--
4	200
5	--
6	750
7	--
8	800

LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

9	--
10	1000

Luego el segundo punto de localización se encontrará en el punto **10** y la capacidad total de clientes potenciales servidos sería **2750**.