

Capítulo 8

Planificación de la capacidad y de la ubicación

EPÍGRAFE

La respuesta a la nueva tecnología no debe ser la construcción de grandes plantas con enormes burocracias, que a final de cuentas producen pérdidas por cuestión de la escala. En vez de esto, las empresas deben tratar de tener instalaciones con una línea de producto especializada y no más de 500 empleados.

Ulf Hoglund
Director ejecutivo, GKN Automotive (Alemania), discurso en la Conferencia de Diseño y Permanencia de Organizaciones de Clase Mundial, Carnegie Mellon University, 31 de mayo de 1991.

ESQUEMA DEL CAPÍTULO

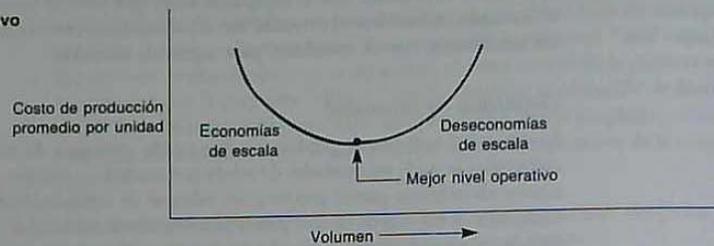
- 8.1 IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES CON RESPECTO A LA CAPACIDAD 362
 - Definición de capacidad 363
 - Factores que afectan la capacidad 363
- 8.2 CONCEPTOS IMPORTANTES DE LA CAPACIDAD 363
 - Mejor nivel operativo 363
 - Economías de escala 363
 - Tasa de uso de la capacidad 365
 - Holguras de capacidad 365
 - Flexibilidad de la capacidad 365
 - Equilibrio de la capacidad 366
 - Enfoque de capacidad 367
 - Capacidad y complejidad 367
- 8.3 PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD 368
 - Planificación a largo plazo de la capacidad en una compañía farmacéutica 368
 - Planificación de la capacidad con árboles de decisión 373
- 8.4 UBICACIÓN DE INSTALACIONES 375
 - Métodos de ubicación de plantas 376
- 8.5 UBICACIÓN DE INSTALACIONES DE SERVICIO 381
 - Evaluación de sitios para instalar en La Quinta Motor Inns 383
 - Ubicación de centros de servicio: un método heurístico 385
- 8.6 CONCLUSIÓN 387
- 8.7 PREGUNTAS DE REPASO Y DISCUSIÓN 388
- 8.8 PROBLEMAS 388
- 8.9 CASO: HOSPITAL DE LA COMUNIDAD 392
- 8.10 BIBLIOGRAFÍA 394

TÉRMINOS CLAVE

Capacidad
Capacidad diseñada
Capacidad máxima
Flexibilidad de la capacidad
Enfoque de la capacidad
Complejidad
Planificación de la capacidad
Árbol de decisión
Método de centro de gravedad

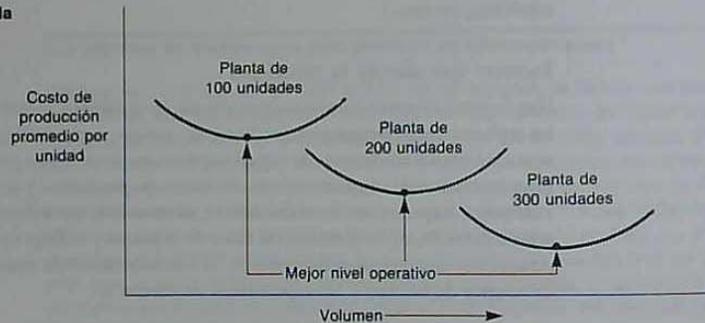
CUADRO 8.1

Mejor nivel operativo



CUADRO 8.2

Economías de escala



con el mejor nivel operativo si se compara el costo promedio por unidad de plantas de tamaño diferente. El cuadro 8.2 muestra los mejores niveles operativos para plantas de 100, 200 y 300 unidades (por año). Se observa que, conforme pasamos de 100 a 300 unidades, es menor el costo unitario promedio para el mejor nivel operativo; si existiera una planta de 400 unidades (por ejemplo), donde fuera mayor el costo de producción que en la planta de 300 unidades, aparecerían pérdidas debido a la escala. Sin embargo, si nos movemos hacia la derecha en cualquiera de las curvas de costo promedio, el aumento no se debería a un problema de escala, ya que no ha crecido el tamaño de la planta. Más bien, indicaría que la gerencia ha tratado de obtener de la planta más de lo que ésta puede ofrecer de manera eficiente. El cuadro 8.2 también muestra que este concepto tiene una segunda dimensión: no sólo existe un tamaño óptimo para la instalación, sino además existe un nivel operativo óptimo para un tamaño determinado. Las economías (y las deseconomías) de escala no sólo existen entre curvas de costos, sino también en las mismas

curvas. Se obtienen economías de escala si la producción se aproxima al mejor nivel operativo de la instalación; si rebasa ese nivel, hay deseconomías.

Aunque es una ilusión encontrar el mejor tamaño y el mejor nivel operativo, es frecuente que los gerentes establezcan políticas con respecto al tamaño máximo de una instalación. De esta manera, el reto es pronosticar la manera en que cambiarán los costos con diferentes tasas de producción e instalaciones de diferentes tamaños. Para esta evaluación hay que prestar mucha atención a las distintas causas de las deseconomías de escala que se presentan en cada situación.

En los últimos años hemos visto que las deseconomías de escala aparecen mucho antes de lo previsto. Este hecho, aunado con la capacidad tecnológica para hacer más en una planta, provoca un cambio hacia instalaciones más pequeñas; un caso bien conocido es el de la industria del acero, donde se ha reducido el número de grandes plantas integradas para favorecer la construcción de instalaciones pequeñas.

Tasa de uso de la capacidad

La *tasa de uso de la capacidad* define el grado en que una empresa utiliza su capacidad, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad utilizada} \div \text{Capacidad diseñada}$$

La tasa de uso de la capacidad se expresa como un porcentaje, para lo que se requiere que el numerador y el denominador se midan con unidades y periodos similares (horas máquina/día, barriles de petróleo/día, pacientes/día, gastos de producción/mes).

Holguras de capacidad

Holgura de capacidad es la cantidad de capacidad que excede a la demanda esperada. Por ejemplo, si se espera que la demanda mensual para una instalación sea de 1 000 000 de dólares en productos y la capacidad de diseño es de 1.2 millones de dólares al mes, la holgura de capacidad es del 20%. Una holgura de capacidad del 20% equivale a una tasa de uso del 83% ($100\% - 20\%$).

Cuando la capacidad diseñada de una empresa es menor que la capacidad necesaria para cumplir con la demanda, se dice que tiene una *holgura de capacidad negativa*. Por ejemplo, si una empresa tiene demanda mensual por 1.2 millones de dólares en productos, pero sólo puede producir un millón, presenta una holgura de capacidad negativa del 20%.

Flexibilidad de la capacidad

En esencia, la *flexibilidad de la capacidad* es la aptitud para entregar lo que el cliente desea en un tiempo menor que el de los competidores. Esta flexibilidad se obtiene a través de plantas, procesos y trabajadores flexibles, así como de estrategias que utilizan la capacidad de otras organizaciones.

Plantas flexibles

Quizás lo máximo en flexibilidad de plantas sea la planta de *tiempo de cambio cero*. Al usar equipo móvil, paredes desmontables y utería relocalizable y de fácil

acceso, una planta de este tipo puede adaptarse para cambiar en tiempo real. Para apreciar el concepto, se puede usar una analogía con una empresa de servicio, una planta "fácil de instalar y fácil de quitar y mover", como un circo.¹

Procesos flexibles

Los procesos comprenden sistemas flexibles de manufactura y equipo de fácil instalación. Ambos enfoques tecnológicos permiten cambiar de una línea de productos a otra rápidamente y a bajo costo, con lo que se obtiene algo que en ocasiones se denomina *economía de alcance* (por definición, hay economías de alcance cuando la producción conjunta de varios productos tiene menor costo que la producción por separado).

Trabajadores flexibles

Los trabajadores flexibles tienen diversas habilidades y cuentan con la capacidad para cambiar rápidamente de un tipo de tarea a otro. Requieren mayor capacitación que los trabajadores especializados y además necesitan el apoyo de la gerencia y de personal para realizar los rápidos cambios en sus tareas.

Utilización de la capacidad externa

La subcontratación y el compartimiento de capacidad son dos estrategias de uso común para crear flexibilidad por medio de la capacidad de otras organizaciones. Un ejemplo de la subcontratación son los bancos japoneses en California, que contratan el servicio de aprobación de cheques de First Interstate Bank of California. Un ejemplo de capacidad compartida son dos líneas aéreas nacionales con rutas diferentes y demandas distintas por temporadas, las cuales intercambian aviones (pintándolos de manera adecuada) cuando una tiene mucha demanda y la otra no.

Equilibrio de la capacidad

En una planta con equilibrio perfecto, la salida de la etapa 1 es precisamente el requisito de entrada para la etapa 2; la salida de la etapa 2 es exactamente lo que se requiere como entrada para la etapa 3, etcétera. No obstante, en la práctica casi siempre es imposible, e indeseable, tener un diseño "perfecto". Una de las razones es que, por lo general, los niveles operativos óptimos para cada etapa son diferentes; por ejemplo, el departamento 1 puede ser más eficiente si produce de 90 a 110 unidades por mes, mientras que el departamento 2, la siguiente etapa del proceso, tal vez tenga mayor eficiencia con 75 a 85 unidades mensuales, y el departamento 3, la tercera etapa, opere mejor con una producción de 150 a 200 unidades. Otra razón es que muchas veces las variaciones en la demanda del producto y los procesos ocasionan desequilibrios, excepto en las líneas de producción automatizadas que, en esencia, no son más que una gran máquina. Hay varias formas de tratar los desequilibrios. En una, se añade capacidad a las etapas que representan cuellos de botella, algo que puede hacerse con medidas temporales como la programación de trabajo

¹ Véase R. J. Schonberger, "The Rationalization of Production", *Proceedings of the 50th Anniversary of the Academy of Management*, Chicago, Academy of Management, 1986, págs. 64-70.

extraordinario, alquiler de equipo o la obtención de capacidad adicional externa por medio de subcontrataciones. Otra manera es usar inventarios reguladores frente a la etapa que forma un cuello de botella, para asegurar que siempre tenga algo para trabajar (esta característica es uno de los fundamentos de la producción sincronizada, que se analiza con detalle en el capítulo 18). Otro método implica duplicar las instalaciones de un departamento del cual depende otro.

Enfoque de capacidad

En 1974, Wickham Skinner presentó el concepto de fábrica especializada, donde se establece que una instalación de producción opera mejor si se centra en un conjunto limitado de objetivos de producción.² Esto significa, por ejemplo, que una empresa no debe esperar la excelencia en cada uno de los aspectos del desempeño de la manufactura: costo, calidad, flexibilidad, introducción de nuevos productos, confiabilidad, tiempos de entrega breves y baja inversión. En cambio, debe seleccionar un conjunto limitado de tareas que contribuyan más a los objetivos corporativos. Pero, debido a los avances tecnológicos en la manufactura, los objetivos de la fábrica se centran en hacerlo todo bien. ¿Cómo resolvemos estas contradicciones aparentes? Una forma es decir que si la empresa no tiene la tecnología para dominar varios objetivos, entonces la opción es un enfoque estrecho. Otra manera es admitir que en realidad no todas las empresas operan en una industria que les exija utilizar toda la gama de capacidades para competir.

También se puede hacer operativo el concepto de *enfoque de la capacidad* con un mecanismo de planta dentro de planta. Una planta especializada puede tener varias subplantas, distintas en suborganización, políticas de equipo y procesos, políticas de administración de personal, métodos de control de la producción, etc., para productos diferentes, incluso si se fabrican bajo el mismo techo. Con esto se puede determinar el mejor nivel operativo para cada componente de la organización y, por consiguiente, se lleva el concepto de enfoque al nivel operativo.

Capacidad y complejidad

Durante la planificación de la capacidad, uno de los principales factores que deben considerarse es la *complejidad* que se agrega al trabajo del gerente, como resultado de la forma en que se despliega esa capacidad. Esto sucede principalmente en instalaciones de servicios múltiples, donde la capacidad está dispersa y por lo tanto es difícil de coordinar.

El cuadro 8.3 presenta un resumen de la forma en que la elección entre diversas características de capacidad y diseño afectan la complejidad de la gestión. Es evidente que al ser más complejas las operaciones, el proceso de planificación de la capacidad es más difícil.

² Wickham Skinner, "The Focused Factory", *Harvard Business Review*, págs. 113-121, mayo-junio de 1974.

CUADRO 8.3

Factores que aumentan la complejidad de la gestión y de la planificación en instalaciones de servicios múltiples

Opciones que dependen de la complejidad	COMPLEJIDAD DE LA GESTIÓN	
	Baja	Alta
Número de instalaciones	Pocas	Muchas
Diversidad de tipos de instalaciones	Normalizada	No normalizada
Dispersión de las instalaciones	Concentradas	Dispersas
Amplitud de la oferta de servicios	Estrecha	Amplia
Número de empleados	Pocos	Muchos
Grado de integración hacia atrás	Bajo	Alto
Volumen de transacciones	Pequeño	Grande

Fuente: W. E. Sasser, R. Paul Olsen y D. D. Wyckoff, *Management of Service Operations*, Nueva York, Allyn & Bacon, 1978, pág. 562.

8.3 PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD

El objetivo de la **planificación de la capacidad** es establecer el nivel de capacidad que satisfaga la demanda del mercado de manera rentable. La planificación de la capacidad se pueden contemplar a largo plazo (más de un año), a medio plazo (los siguientes 6 a 18 meses) y a corto plazo (menos de seis meses).

En este capítulo se estudiará principalmente la planificación a largo plazo, en la que la empresa toma sus principales decisiones de inversión. La planificación de la capacidad típica para largo plazo, además de planificar grandes aspectos de la capacidad (por ejemplo, una nueva fábrica, como se muestra en el cuadro 8.4), debe considerar la demanda de cada una de las líneas de producción, la capacidad de las plantas y la asignación de la producción en la red de plantas. Es común que se realice con los siguientes pasos:

1. Pronosticar las ventas para cada línea de productos.
2. Pronosticar las ventas para cada producto de las líneas.
3. Calcular los requisitos de equipo y personal para cumplir los pronósticos de producto.
4. Proyectar la disponibilidad de equipo y de personal en todo el horizonte de planificación.

Planificación a largo plazo de la capacidad en una compañía farmacéutica

El ejemplo que se presenta a continuación describe los procedimientos que empleó uno de los principales productores farmacéuticos al desarrollar su Plan Nacional Quinquenal de Recursos.³ Observe que este ejemplo supone un conjunto de fábr-

³ Mark Louis Smith, "Production Planning Simplicity", en *Strategic Manufacturing: Dynamic New Directions for the 1990s*, editado por Patricia E. Moody, Homewood, Ill., BUSINESS ONE IRWIN, 1990, págs. 242-246.

CUADRO 8.4
Importante proyecto de planificación de capacidad e instalaciones en una compañía

Tarea

Aunque en profundidad todas las principales opciones para cumplir con los requisitos de capacidad de la división en los próximos cinco años o más, preparar después una solicitud de capital para la opción que elija la gerencia.

Tiempo

El equipo de proyecto debe concluir en cuatro meses el análisis de opciones y terminar la solicitud de capital para la opción seleccionada antes del último día del quinto mes.

Personal del equipo de proyecto

Ingeniero industrial jefe de la división (líder del equipo)
Analista de apoyo del área de planificación corporativa
Ingenieros industriales de la división (hasta cuatro, según se requiera)

Esquema del plan

- A. Determinar las necesidades de manufactura
 1. Obtener de mercadotecnia los pronósticos de ventas (pesimista, más probable, optimista) que abarquen cinco años.
 2. Obtener de mercadotecnia un pronóstico de las condiciones de negocios para un periodo subsecuente de 10 años.
 3. Determinar si es probable que se intente producir en casa el extremo pequeño de nuestra línea de productos.
 - B. Medir las necesidades
 1. Convertir los pronósticos en horas de trabajo directo y hacer ajustes para considerar el desempeño.
 2. Separar los resultados anteriores para obtener requisitos de
 - a. Línea de productos A.
 - b. Línea de productos B.
 - c. Línea de productos C.
 - d. Línea de productos D.
 3. Agrupar las necesidades para varias opciones del plan.
 - C. Preparar opciones del plan
 1. Línea de productos sin cambios en la planta 1 y línea de productos sin cambios en la planta 2.
 2. Proporcionar nuevas instalaciones para el producto C.
 3. Transferir la manufactura de la línea de productos C a la planta 2, transferir la línea de productos B a la planta 1.
 4. Proporcionar nuevas instalaciones para la línea de productos D.
- Nota: El análisis de cada opción del plan debe incluir:
1. Requisitos de espacio.
 2. Necesidades de personal directo.
 3. Evaluación de las curvas de aprendizaje.
 4. Requisitos de bienes de producción.
 5. Programación de la transferencia del trabajo (si se requiere).
 6. Consideraciones para expansión en el futuro.
 7. Índice de rentabilidad.
- D. Toma de decisiones
 1. Evaluar opciones.
 2. Decidir qué opción es la mejor.
 3. Hacer recomendaciones a la gerencia.
 4. Obtener la aprobación de la gerencia.
 - E. Preparar la solicitud (o solicitudes) de autorización de capital

Fuente: Robert Hayes y Steven Wheelwright, *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*, Nueva York, John Wiley and Sons, 1984, págs. 132-133

cas existentes, pero también se puede aplicar el procedimiento para determinar las necesidades de capacidad de instalaciones planificadas o potenciales.

El Plan Nacional Quinquenal de Recursos ofrece una aproximación agregada por cada instalación de manufactura de los recursos de capital y de mano de obra capacitada; se prepara y revisa con cada instalación dos veces por año. La gerencia de las plantas utiliza el plan como guía para desarrollar sus planes de negocios y operativos. Con los años, el plan se ha transformado de un documento anual calculado a mano, sin posibilidad de simulaciones, en el modelo de computación actual con la capacidad para generar simulaciones cada seis u ocho minutos. El modelo utiliza sencillos conceptos de planificación y puede instalarse en un computador central con lenguaje de base de datos (FOCUS® o QUERY UPDATE®) o en un computador personal con base de datos (dBASE® o PFS®) o lenguaje de hoja de cálculo (Lotus 1-2-3® o Excel®).

Para el plan se toman las siguientes decisiones estratégicas operativas:

- Cambiar el enfoque de la planta, por ejemplo, de la manufactura de grandes volúmenes de productos con un solo ingrediente y pocas unidades de almacenamiento (UA; del inglés *SKU, stock-keeping unit*), a la fabricación de productos de bajo volumen, con muchos ingredientes y varias UA.
- Cambiar la ubicación de la manufactura de una línea de productos para eliminar una restricción de la capacidad o aprovechar una diferencia en costos.
- Presentar las solicitudes de fondos de capital para apoyar la creación de nuevos productos, las ampliaciones de líneas y el crecimiento de ventas, así como actualizar o reemplazar activos viejos.
- Solicitar la aprobación o la justificación de fuentes adicionales de nuevo personal.

El cálculo del plan se inicia con dos informaciones:

1. El pronóstico actual de ventas anuales con detalles de UA.
2. El pronóstico quinquenal de crecimiento para cada familia de productos (véase cuadro 8.5).

En el cuadro 8.5, por ejemplo, el término *Familia de productos A* representa un grupo de UA comunes (digamos, paquetes de 20, 50 o 100 unidades) de medicamentos para la tos.

El siguiente paso del proceso de planificación es desarrollar cinco años de detalles de UA, cada una de las cuales se extiende hasta el pronóstico de crecimiento de su familia de productos. Por ejemplo, en el cuadro 8.5, se calcula la UA 1 de la familia de productos A extendiendo su valor anual actual de 1000 hasta el pronóstico de crecimiento del 5% del año 2, para obtener un valor de 1050 ($1000 \times 1.05 = 1050$). Para el año 3, se calcula el valor de la UA 1 para la familia de productos A a partir del valor del año 2 (1050), que se extiende con el pronóstico de crecimiento de 4%, con lo que se obtiene un valor de 1092 ($1050 \times 1.04 = 1092$). Este proceso continúa hasta abarcar todas las UA y las familias de productos. En el cuadro 8.6 se presentan las extensiones de pronóstico completas.

CUADRO 8.5

Pronóstico quinquenal de crecimiento para dos familias de productos

	UA	Año actual	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Familia de productos A	Pronósticos	1	1 000			
		2	5 000			
		3	3 000			
	Total		9 000			
Pronóstico de crecimiento			5%	4%	4%	4%
Familia de productos B	Pronósticos	1	6 000			
		2	4 000			
		3	2 000			
	Total		12 000			
Pronóstico de crecimiento			7%	8%	8%	9%

CUADRO 8.6

Pronóstico quinquenal de crecimiento con detalles de las UA

	UA	Año actual	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Familia de productos A	Pronósticos	1	1 000	1 050	1 092	1 136	1 181
		2	5 000	5 250	5 460	5 678	5 906
		3	3 000	3 150	3 276	3 407	3 543
	Total		9 000	9 450	9 828	10 221	10 630
Pronóstico de crecimiento			5%	4%	4%	4%	
Familia de productos B	Pronósticos	1	6 000	6 420	6 934	7 488	8 162
		2	4 000	4 280	4 622	4 992	5 441
		3	2 000	2 140	2 311	2 496	2 721
	Total		12 000	12 840	13 867	14 977	16 324
Pronóstico de crecimiento			7%	8%	8%	9%	

Pero si hay planes exclusivos de mercadotecnia o de ventas para determinada UA, como es el caso de una campaña de promociones, es posible alterar manualmente la extensión por crecimiento.

Explosión de los pronósticos: Una vez que se elaboran los pronósticos, se explotan por medio de una lista de materiales⁴ y, por medio de valores de máquinas estándar y de planificación de mano de obra en las rutas de flujo del trabajo, se convierten en necesidades de maquinaria y de personal (véase cuadro 8.7).

- **Valor del equipo planificado:** producción anual esperada de una UA específica en un centro de producción determinado. Ejemplo: familia de productos A, UA 1: producción anual planificada o asignada = 2000 unidades.

⁴ Una lista de materiales es la lista de los ingredientes y contenedores necesarios para producir y enviar los fármacos. En el capítulo 14 se analizan con detalle las listas de materiales.

CUADRO 8.7

Efectos que ejerce en la producción el pronóstico del crecimiento en cinco años

	UA	Año actual	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Valores de planificación
Familia de productos A							
Pronósticos	1	1 000	1 050	1 092	1 136	1 181	
	2	5 000	5 250	5 460	5 678	5 906	
	3	3 000	3 150	3 276	3 407	3 543	
Demanda de equipo	1	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	2 000
	2	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	8 000
	3	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	4 000
Total		1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	
Demanda de personal	1	3	3	3	3	4	6
	2	4	4	4	4	4	6
	3	7	7	7	8	8	9
Total		14	14	14	15	16	
Familia de productos B							
Pronósticos	1	6 000	6 420	6 934	7 488	8 162	
	2	4 000	4 280	4 622	4 992	5 441	
	3	2 000	2 140	2 311	2 496	2 721	
Demanda de equipo	1	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	11 000
	2	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	5 000
	3	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	3 000
Total		2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	
Demanda de personal	1	3	4	4	4	4	6
	2	5	5	6	6	7	6
	3	6	6	7	7	8	9
Total		14	15	17	17	19	
Totales de equipo y de personal							
Demanda de equipo		3.9	4.1	4.4	4.6	5.0	
Equipo disponible		5	5	5	5	5	
Carga		78%	82%	87%	93%	99%	
Demanda de personal		28	29	31	33	35	
Personal disponible		86	86	86	86	86	
Variación		58	57	55	53	51	

- **Demanda de equipo:** cantidad de equipo necesario para apoyar los pronósticos de una UA (también se expresa como turnos de máquinas, horas máquina, etcétera). Ejemplo: familia de productos A, UA 1: pronóstico = 1000, valor del equipo planificado = 2000; demanda de equipo = $1000/2000 = 0.5$ máquinas o líneas.
- **Valor del personal planificado:** cantidad de personal necesario para manejar el equipo. Ejemplo: familia de productos A, UA 1: valor de personal planificado o tamaño de cuadrilla = 6.
- **Demanda de personal:** cantidad promedio de personal necesario para apoyar el pronóstico de una UA específica. Ejemplo: familia de productos A, UA 1: demanda de equipo = 0.5 máquinas/año, valor del personal planificado = 6, demanda promedio anual = $(0.5)(6) = 3$.

- El *equipo y el personal disponibles* son valores supuestos para el ejemplo, que representarían a los recursos actuales disponibles.

Siguiendo la guía del plan, el departamento corporativo de planificación y los departamentos de control de inventario y de producción de plantas inician el desarrollo del plan agregado o de medio plazo (véase el capítulo 12 para obtener más información sobre la planificación agregada).

Planificación de la capacidad con árboles de decisión

Una manera conveniente de presentar los pasos de un problema es un *árbol de decisión*. El formato de árbol no sólo ayuda a comprender el problema, sino también a encontrar una solución. Un árbol de decisión es un modelo esquemático de la secuencia de pasos en un problema y las consecuencias de cada paso.

Los árboles de decisión se forman con nodos de decisiones y ramas que parten de los nodos o llegan a ellos. Convencionalmente, los cuadros representan puntos de decisiones y los círculos indican las opciones de sucesos. Las ramas que parten de los puntos de decisión muestran las opciones disponibles y las que parten de las opciones de sucesos indican la probabilidad de que ocurran.

Para resolver problemas de árboles de decisión, se comienza por el final del árbol y se llega al inicio. Durante este recorrido, se calculan los valores esperados para cada paso.

Después de los cálculos, se depura el árbol eliminando todas las ramas de cada punto de decisión, excepto a la que ofrezca mayores frutos. Este proceso continúa hasta llegar al primer problema de decisión.

En seguida se muestra la forma de aplicar el árbol de decisión para planificar la capacidad de la tienda de computadores Hackers.

El dueño de Hackers considera lo que va a hacer con su negocio en los próximos tres años. En los últimos dos años el crecimiento en las ventas ha sido bueno, pero podría aumentar más si se construye en su área una importante empresa de electrónica, como se espera. El dueño ve tres opciones: la primera es ampliar su tienda actual, la segunda es ubicarla en un nuevo lugar y la tercera es esperar y no hacer nada. Tardarían poco tiempo en realizarse la ampliación o la mudanza, por lo que la tienda no perdería tiempo en realizarse el primer año y se presentara un fuerte crecimiento, entonces estudiaría de nuevo la decisión de ampliar la tienda. Si esperara más de un año, la competencia entraría en el juego y ya no sería factible la ampliación.

Las suposiciones y condiciones son:

1. Hay una probabilidad del 55% de que se presente un fuerte crecimiento por el aumento de aficionados a la computación de la empresa de electrónica.
2. Si hay un fuerte crecimiento y se ubica en un nuevo lugar, el rendimiento anual sería de 195 000 dólares. Si el crecimiento es débil y se ubica en un nuevo lugar, el rendimiento anual sería de 115 000 dólares.

3. Si amplía la tienda y hay fuerte crecimiento, el rendimiento anual sería de 190 000 dólares; con la ampliación y el crecimiento débil, el rendimiento anual sería 100 000 dólares.
4. En la tienda actual, si no hay cambios, el rendimiento sería de 170 000 dólares por año durante un periodo de crecimiento fuerte, y de 105 000 dólares si es débil.
5. El costo de la ampliación de la tienda actual sería de 87 000 dólares.
6. El costo de trasladarse a otro sitio sería de 210 000 dólares.
7. Si el crecimiento es fuerte y se ampliara la tienda actual en el segundo año, el costo sería el mismo: 87 000 dólares.
8. Los costos de funcionamiento son iguales para todas las operaciones.

Se construye un árbol de decisión para aconsejar al dueño de Hackers acerca de la mejor acción.

El cuadro 8.8 muestra el árbol de decisión para este problema. Se exhiben dos puntos de decisión (nodos cuadrados) y dos opciones de sucesos (nodos redondos). A continuación se presentan los valores de los nodos y los puntos de decisión:

Nodo A. Mudarse a un nuevo lugar.

Rendimiento con crecimiento fuerte	\$195 000/año × 5 años = \$975 000
Rendimiento con crecimiento débil	\$115 000/año × 5 años = \$575 000
Rendimiento esperado en A =	(\$975 000 × 0.55) + (\$575 000 × 0.45)
	\$795 000
Menos costo de nuevas instalaciones =	-210 000
Rendimiento neto del nuevo lugar	\$585 000

Nodo B. Ampliar la tienda actual.

Rendimiento con crecimiento fuerte	\$190 000/año × 5 años = \$950 000
Rendimiento con crecimiento débil	\$100 000/año × 5 años = \$500 000
Rendimiento esperado en B =	(\$950 000 × 0.55) + (\$500 000 × 0.45)
	\$747 500
Menos costo de ampliación =	-87 000
Rendimiento neto de la ampliación	\$660 500

Punto de decisión 2. Después de un año, considerar:

Ampliar la tienda existente	
Rendimiento con crecimiento fuerte	\$190 000/año × 4 años = \$760 000
Menos costos de ampliación	-87 000
Rendimiento neto	\$673 000
Conservar sin cambios la tienda:	
Rendimiento con crecimiento fuerte	\$170 000/año × 4 años = \$680 000

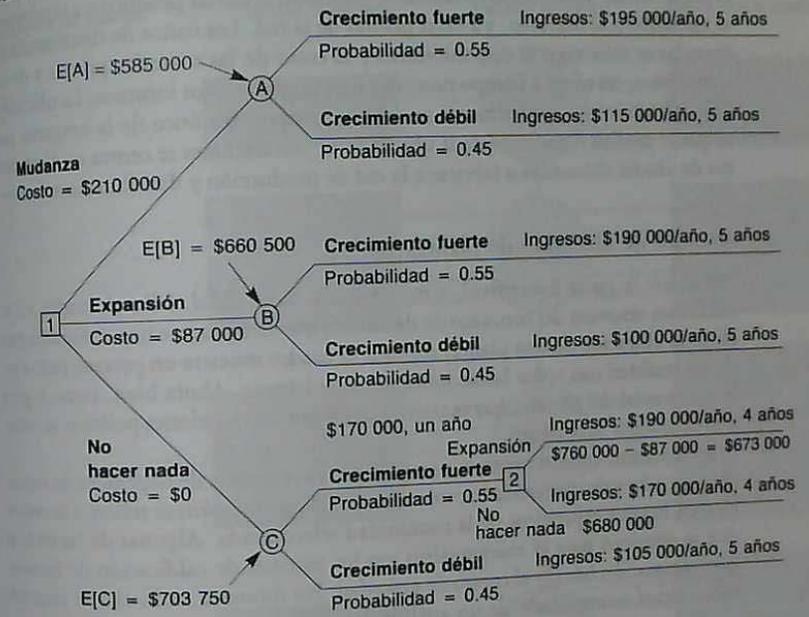
El punto de decisión 2 muestra la opción de \$673 000 si amplía la tienda existente, comparada con \$680 000 si no se efectúan cambios. Por lo tanto, quitamos la rama de ampliación ya que el rendimiento es menor.

Nodo C. No hacer nada.

Crecimiento fuerte en el primer año =	\$170 000/año × 1 año =	\$170 000
Valor de la mejor decisión, no ampliar		680 000
		<u>\$850 000</u>

CUADRO 8.8

Árbol de decisión para la tienda de computación Hackers



E[C] = Ingresos esperados en la opción X

Crecimiento débil en el primer año	=	\$105 000
Conservar cuatro años la tienda sin cambios (4 × \$105 000)	=	420 000
		<u>\$525 000</u>
Rendimiento esperado en el nodo C = (0.55 × \$850 000) + (0.45 × \$525 000)		
	=	\$703,750

La mejor opción es no hacer nada, con lo que se obtiene un valor de 703 750 dólares, comparado con 585 000 dólares para el nuevo lugar y 660 500 dólares con la ampliación.

8.4 UBICACIÓN DE INSTALACIONES

Para los fabricantes, el problema de ubicación de instalaciones se divide en dos categorías generales: la fábrica y los almacenes. Con base en estas categorías, el interés puede ser ubicar la primera fábrica o almacén de la empresa o ubicar una nueva fábrica o almacén en relación con instalaciones existentes. El objetivo general de elegir la ubicación es seleccionar el lugar, o la combinación de lugares, que minimice tres tipos de costos: los regionales, los de distribución de salidas y los de distribución de entradas. Los costos regionales tienen que ver con

la localidad, e incluyen terreno, construcción, personal, impuestos y costo de la energía. Los de distribución de salidas se presentan al enviar productos a vendedores al menudeo o al mayoreo, y a otras plantas de la red. Los costos de distribución de entradas se refieren a la disponibilidad y al costo de las materias primas y de los suministros, así como a tiempo necesario para adquirir estos insumos. La ubicación de la planta inicial normalmente se debe al contexto histórico de la empresa, por lo que el análisis económico de la ubicación de instalaciones se centra en el problema de añadir almacenes o fábricas a la red de producción y distribución existente.

Métodos de ubicación de plantas

“Si al jefe le gusta Bakersfield, a mí me gusta Bakersfield.” En el cuadro 8.9 se exhibe un resumen del conjunto de decisiones que debe tomar una compañía para elegir la ubicación de una planta. Aunque el cuadro muestra un proceso paso a paso, en realidad casi todas las acciones son simultáneas. Ahora bien, como sugiere la frase inicial del párrafo, hay ocasiones en las que las decisiones políticas se imponen al análisis sistemático.

Se denomina comúnmente *macroanálisis* a la evaluación de opciones de región, de subregión y de comunidades, mientras que el *microanálisis* se refiere a la evaluación de lugares específicos de la comunidad seleccionada. Algunas de las técnicas que se emplean para el macroanálisis son los sistemas de calificación de factores, la programación lineal y el centro de gravedad. Por supuesto, cada uno de estos métodos estará acompañado de un análisis detallado de costos.

Sistemas de calificación de factores

Los sistemas de calificación de factores son quizás la técnica de ubicación general que más se usa, ya que ofrece un mecanismo para combinar diversos factores en un formato fácil de comprender.

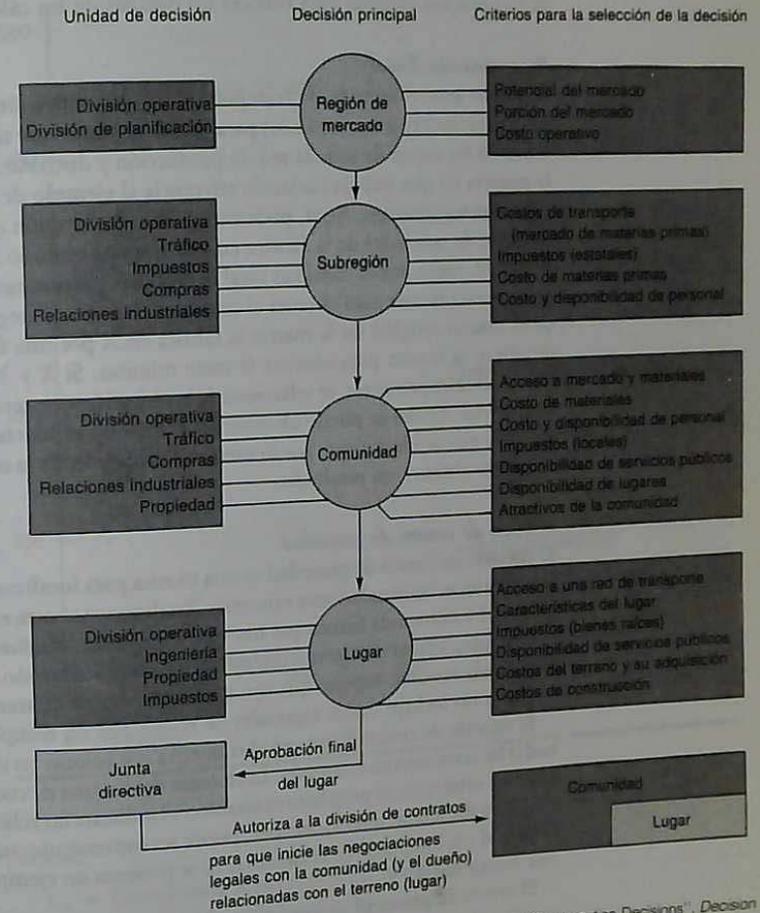
Como ejemplo, una refinera asignó el siguiente intervalo de calificaciones a los principales factores que afectan un conjunto de posibles lugares.

	Intervalo
Combustibles en la región	0 a 330
Disponibilidad y confiabilidad de energía	0 a 200
Clima de trabajo	0 a 100
Condiciones de vida	0 a 100
Transporte	0 a 50
Suministro de agua	0 a 10
Clima	0 a 50
Suministros	0 a 60
Políticas y leyes fiscales	0 a 20

Se evaluaron los factores para cada lugar y se asignó una calificación del intervalo posible. Después se compararon las sumas de puntos de los diferentes lugares y se seleccionó el lugar con la mayor suma.

Uno de los mayores problemas de los esquemas de calificación sencillos es que no toman en cuenta la diversidad de costos que puede presentarse para cada factor. Por ejemplo, es posible que para un factor la diferencia entre el mejor y el peor lugar

CUADRO 8.9
Búsqueda de planta:
Compañía XYZ



Fuente: Thomas M. Carroll y Robert D. Dean, "A Bayesian Approach to Plant-Location Decisions", *Decision Sciences* 11, núm. 1, pág. 87, enero de 1980.

sea sólo de unos cientos de dólares, y que en otro la diferencia sea de varios miles. Es posible que se haya asignado el mayor número de puntos al primer factor, pero no ayudará mucho a tomar la decisión con respecto a la ubicación; por otra parte, el segundo factor puede tener pocos puntos pero sí el potencial para marcar una diferencia real en el valor de las ubicaciones. Para resolver este problema, Phillip Hicks y Areen Kumtha proponen una escala ponderada, basada en desviaciones estándar de costo en vez de costos totales, para obtener los puntos posibles para cada

factor.³ Este método es interesante y el lector que esté interesado puede consultar la publicación original para conocer los detalles de los cálculos.

Programación lineal

Se puede usar el método de transporte de la programación lineal (que se estudia en el suplemento a este capítulo) para probar el efecto que tienen los lugares candidatos en los costos de toda la red de producción y distribución. Se puede observar la manera en que trabaja haciendo referencia al ejemplo de la compañía Puck and Pawn del suplemento. Aquí, podemos añadir otro renglón que contenga los costos de envío de unidades de la fábrica en una nueva ubicación, X , a los almacenes E , F , G y H , junto con la cantidad total que podría proporcionar. Entonces se puede resolver esta matriz para obtener el costo total mínimo. Luego, podríamos sustituir en el mismo renglón de la matriz la fábrica en X por una fábrica en Y y resolver de nuevo la matriz para obtener el costo mínimo. Si X y Y son iguales en todos los aspectos importantes, se seleccionaría la ubicación que representa el menor costo para la red. Como se puede observar, este método es bastante fácil de usar, pero requiere que se identifique por lo menos la subregión de la ubicación antes de que se pueda obtener un resultado.

Método de centro de gravedad

El método de centro de gravedad es una técnica para localizar instalaciones únicas, que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y la nueva instalación, y el volumen de bienes que hay que transportar. Muchas veces se emplea esta técnica para ubicar almacenes intermedios o de distribución. Este método, en su forma más sencilla, supone que son iguales los costos de transporte de entradas y salidas y no incluye costos especiales de envíos por no completar la carga.

El método de centro de gravedad comienza por colocar en un sistema de coordenadas las instalaciones existentes. La elección del sistema de coordenadas es completamente arbitrario; el propósito es establecer las distancias relativas entre instalaciones. Para decisiones internacionales, puede ser conveniente usar como coordenadas la latitud y la longitud. En el cuadro 8.10 se presenta un ejemplo de representación con coordenadas.

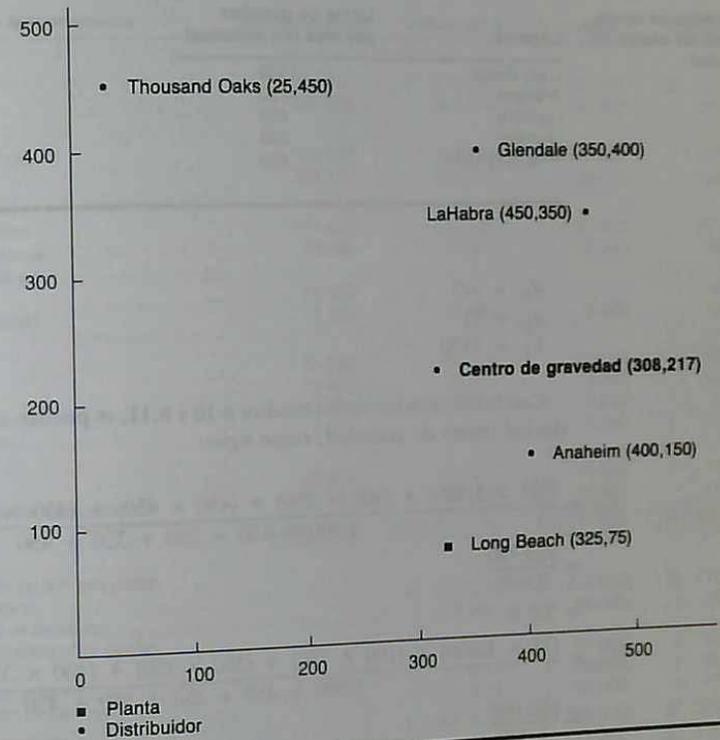
El centro de gravedad se determina calculando las coordenadas X y Y que corresponden al menor costo de transporte. Se usan las fórmulas siguientes:

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

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

³ Phillip E. Hicks y Areen M. Kumtha, "One Way to Tighten Up Plant Location Decisions", *Industrial Engineering* 9, págs. 19-23, abril de 1971.

CUADRO 8.10
Ejemplo de mapa de coordenadas para el método de centro de gravedad



donde

- C_x = Coordenada X del centro de gravedad
- C_y = Coordenada Y del centro de gravedad
- d_{ix} = Coordenada X de la i ésima ubicación
- d_{iy} = Coordenada Y de la i ésima ubicación
- V_i = Volumen de bienes que llegan o salen de la i ésima ubicación

Ejemplo

HiOctane Refinery Company necesita ubicar una instalación de almacenamiento intermedia entre su planta de refinamiento en Long Beach y sus principales distribuidores. El cuadro 8.10 exhibe el mapa de coordenadas; el cuadro 8.11 presenta el volumen de gasolina que se mueve entre la planta y sus distribuidores.

En este ejemplo, los datos para la ubicación en Long Beach (primera ubicación) son los siguientes

CUADRO 8.11

Volúmenes de envío, ejemplo de centro de gravedad	Lugares	Litros de gasolina por mes (en millones)
	Long Beach	1500
	Anaheim	250
	LaHabra	450
	Glendale	350
	Thousand Oaks	450

$$d_{1x} = 325$$

$$d_{1y} = 75$$

$$V_1 = 1500$$

Con la información de los cuadros 8.10 y 8.11, se pueden calcular las coordenadas del centro de gravedad, como sigue:

$$C_x = \frac{(325 \times 1,500) + (400 \times 250) + (450 \times 450) + (350 \times 350) + (25 \times 450)}{1,500 + 450 + 250 + 350 + 450}$$

$$= \frac{923,750}{3,000}$$

$$= 307.9$$

$$C_y = \frac{(75 \times 1,500) + (150 \times 250) + (350 \times 450) + (400 \times 350) + (450 \times 450)}{1,500 + 450 + 250 + 350 + 450}$$

$$= \frac{650,000}{3,000}$$

$$= 216.7$$

De esta manera, la gerencia obtiene coordenadas X y Y de 308 y 217, respectivamente, lo cual es un punto de partida para buscar un nuevo lugar. Si se revisa en el mapa la ubicación del centro de gravedad calculado, se observa que puede ser más económico enviar el combustible directamente de la planta de Long Beach al distribuidor de Anaheim, en vez de enviarlo a través de un almacén cercano al centro de gravedad. Antes de decidir cuál será la ubicación, es probable que la gerencia quiera calcular de nuevo el centro de gravedad, cambiando los datos para reflejar esta situación (es decir, reducir el volumen que se envía de Long Beach en la cantidad que requiere Anaheim, y eliminar a Anaheim de la fórmula).

Análisis detallado de costos

Hay que preparar un análisis detallado de costos antes de tomar la decisión final con respecto a la ubicación. El cuadro 8.12, extraído de la revista *Factory*, presenta el análisis de costos real de una compañía que pensaba reubicar su planta. Observe que es común utilizar cálculos a valor presente para aumentar los cálculos de costo que se muestran en este cuadro.

CUADRO 8.12

Ejemplo de análisis de costo (ubicación actual contra comunidades recomendadas)

Gastos de funcionamiento	Ubicación actual	Comunidad A	Comunidad B	Comunidad C
Transporte	\$ 202 942	\$ 212 209	\$ 207 467	\$ 220 009
De entrada	480 605	361 268	393 402	365 198
De salida				
Personal	1 520 943	1 339 790	1 146 087	1 223 416
Directo e indirecto por horas	304 189	187 571	126 070	159 044
Prestaciones				
Gastos adicionales de planta	271 436	290 000	280 000	295 000
Costo del alquiler o en libros	43 345	39 000	34 000	39 000
Impuestos sobre bienes raíces				
Impuestos locales, predial y otros	16 899	—	—	8 500
Combustible para calefacción	19 260	11 000	9 500	13 000
Servicios				
Energía eléctrica	56 580	61 304	41 712	49 007
Gas	18 460	19 812	13 767	16 633
Agua	12 474	8 200	4 500	4 500
Tratamiento de vertidos	6 376	—	2 300	—
Factores estatales	67 811	73 400	44 920	71 000
Impuestos estatales	30 499	24 000	14 000	17 000
Seguro de compensación de trabajadores				
Total	\$3 051 819	\$ 2 627 554	\$ 2 317 725	\$ 2 481 337
Ahorros por la construcción de la nueva planta		\$(210 000)	\$(210 000)	\$(210 000)
Nueva distribución de planta		(38 000)	(38 000)	(38 000)
Reducción en el manejo de materiales				
Eliminación de los movimientos entre plantas actuales		(60 000)	(60 000)	(60 000)
Reducción en almacenes públicos		(30 000)	(30 000)	(30 000)
Reducción en supervisión de personal		(27 000)	(27 000)	(27 000)
Ahorros por la nueva construcción		\$(365 000)	\$(365 000)	\$(365 000)
Costos de funcionamiento anuales	\$3 051 819	\$ 2 262 554	\$ 1 952 725	\$ 2 116 337
Ahorros potenciales con respecto a la ubicación actual		\$ 789 265	\$ 1 099 094	\$ 935 482
Porcentaje de ahorro		25.9%	36.0%	30.7%

Fuente: "New Plants and Expansions, End of Tunnel May Be in Sight", *Factory*, pag. 57, septiembre de 1975.

8.5 UBICACIÓN DE INSTALACIONES DE SERVICIO

La decisión de la ubicación de instalaciones es también un factor primordial en las organizaciones de servicios; como regla general, la ubicación se basa en la proximidad de los clientes, más que en los aspectos de recursos. Es mucho más común la construcción de nuevas instalaciones de servicio que la de nuevas fábricas o almacenes, debido a la variedad de empresas de servicio y el costo relativamente bajo de establecer una nueva instalación. De hecho, son pocas las comunidades donde el rápido crecimiento de la población no ha estado acompañado por un auge igualmente rápido de tiendas, restaurantes, servicios municipales e instalaciones de entretenimiento.

Es típico que los servicios tengan varias instalaciones para mantener el contacto cercano con los clientes. La decisión de ubicarse está estrechamente ligada con la de seleccionar el mercado. Si el mercado objetivo es el grupo de personas de edad universitaria, entonces no son opciones viables los lugares en comunidades de retiro, a pesar de que sean deseables por cuestiones de costo, disponibilidad de recursos, etcétera. Las necesidades de mercado también afectan el número de instalaciones que hay que construir, su tamaño y sus características. Mientras que las decisiones de ubicación para la manufactura por lo general se basan en la minimización de costos, varias de las técnicas de decisión para los servicios maximizan la utilidad potencial de los distintos lugares.

CUADRO 8.13

Variables independientes recopiladas para la etapa inicial de construcción del modelo

Categoría	Nombre	Descripción
Competitiva	TARIFA	Tarifa por cuarto en el hotel
	PRECIO	Precio del hotel
	TARIFCOMP	Tarifa promedio por cuarto de la competencia
	CTOS1	Cuartos de hotel a menos de 1.5 kilómetros
	CTOSTOT	Cuartos de hotel a menos de 5 kilómetros
	CTOSHOT	Cuartos en el hotel
Generadores de demanda	CIVILES	Personal civil de base
	UNIVERS	Inscritos en universidades
	HOSP1	Camas de hospital a menos de 1.5 kilómetros
	HOSPOT	Camas de hospital a menos de 6.5 kilómetros
	INDPES	Alto empleo en industria
	INDLIG	Poca área industrial
	COMERC	Metros cuadrados de centros comerciales
	MILBLQ	Base militar bloqueada
	MILITAR	Personal militar
	MILTOT	MILITAR + CIVILES
	OFC1	Espacio de oficinas a menos de 1.5 kilómetros
	OFCTOTAL	Espacio de oficinas a menos de 5 kilómetros
	OFCCENT	Espacio de oficinas en el centro de la comunidad
	PASAJERO	Pasajeros de avión
	MENUDEO	Clasificación de las actividades de ventas al menudeo
	TURISTAS	Turistas por año
TRAFICO	Recuento de tráfico	
TRANSP	Transporte al aeropuerto	
Demográfica	PCTJEEMP	Porcentaje de desempleo
	INGRESOS	Ingresos familiares anuales
	POBLAC	Población residencial
Percepción del mercado	EDAD	Años de actividad del hotel
	MASCERCA	Distancia al hotel más cercano
	ESTADO	Población estatal por hotel
	URBANA	Población urbana por hotel
Física	ACCESO	Facilidad de acceso
	ARTERIA	Ruta de tráfico principal
	DISTCENT	Distancia al centro de la comunidad
	VISSENAL	Visibilidad de señales

Fuente: Reimpreso con autorización de Sheryl E. Kimes y James A. Fitzsimmons, "Selecting Profitable Hotel Sites at La Quinta Motor Inns", *Interfaces* 20, marzo-abril de 1990. © 1990 The Institute of Management Sciences, 290 Westminster Street, Providence, Rhode Island 02903 EUA.

Evaluación de sitios para instalar en La Quinta Motor Inns

La elección de buenos lugares es un factor decisivo para el éxito de una cadena de hoteles. Existen cuatro aspectos de mercadotecnia principales: precio, producto, promoción y ubicación; de éstos, se ha visto que la ubicación y el producto son los más importantes para las empresas con varias instalaciones. Por ende, tienen considerable ventaja competitiva los dueños de las cadenas de hoteles que pueden escoger rápidamente un buen lugar.

En el cuadro 8.13 se muestra la lista inicial de variables que se incluyeron en un estudio para ayudar a La Quinta Motor Inns en la evaluación de posibles ubicaciones de sus nuevos hoteles.⁶ Los datos se recopilaron en 57 hoteles La Quinta y su análisis identificó las variables correlacionadas con las utilidades operativas en 1983 y 1986 (véase cuadro 8.14).

Luego, se construyó un modelo de regresión, cuya forma final se presenta a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Rentabilidad} = & 39.05 - 5.41 \times \text{Población estatal por hotel (1000)} \\ & + 5.86 \times \text{Precio del hotel} \\ & - 3.91 \times \text{Raíz cuadrada del ingreso promedio del área} \\ & \quad (1000) \\ & + 1.75 \times \text{Estudiantes universitarios a menos de 6.5 ki-} \\ & \quad \text{lómetros.} \end{aligned}$$

CUADRO 8.14

Resumen de las variables correlacionadas con el margen operativo de 1983 y 1986

Variable	1983	1986
ACCESO	20	49
EDAD	29	25
UNIVERS		-22
DISTCENT		-22
PCTJEEMP	-22	-23
INGRESOS		22
MILTOT	-51	
MASCERCA	30	35
OFCCENT	30	58
POBLAC	38	27
PRECIO		-33
TARIFA	-32	
ESTADO	25	
VISSENAL	32	-26
TRAFICO	-22	
URBANA		

Fuente: Reimpreso con autorización de Sheryl E. Kimes y James A. Fitzsimmons, "Selecting Profitable Hotel Sites at La Quinta Motor Inns", *Interfaces* 20, marzo-abril de 1990. © 1990 The Institute of Management Sciences, 290 Westminster Street, Providence, Rhode Island 02903 EUA.

⁶ Sheryl E. Kimes y James A. Fitzsimmons, "Selecting Profitable Hotel Sites at La Quinta Motor Inns", *Interfaces* 20, págs. 19-20, marzo-abril de 1990.

Este modelo indica que la rentabilidad es afectada por la penetración del mercado, afectada positivamente por el precio, negativamente por los ingresos más elevados (los hoteles operan mejor en áreas con menor promedio de ingresos) y positivamente por las universidades cercanas.

La Quinta elaboró el modelo en una hoja de cálculo Lotus 1-2-3 y lo usa de manera rutinaria para evaluar posibles adquisiciones de bienes raíces. El fundador y presidente de La Quinta aceptó la validez del modelo y no se siente obligado a seleccionar los lugares personalmente.

Este ejemplo nos enseña que se puede obtener un modelo específico a partir de los requisitos de las organizaciones de servicio y usarlo para identificar las características que tienen mayor importancia para seleccionar el lugar apropiado. En el recuadro se describen las normas y las estrategias de expansión de AM/PM International.

Cómo selecciona sus emplazamientos AM/PM International

Las tiendas AM/PM son una subsidiaria de ARCO Corporation. Estas tiendas por lo general están conectadas con estaciones de servicio. Las metas de AM/PM International son fortalecer el programa AM/PM por medio de permisos para uso de marca en otros países y participaciones conjuntas. Además, ARCO quiere participar de manera enérgica en los nacientes mercados internacionales y fortalecer su presencia en otros países. Además, desea generar utilidades adicionales a largo plazo.

AM/PM International considera cuatro normas para la selección de un país:

1. La población en la ciudad objetivo debe ser mayor de un millón.
2. El ingreso per cápita anual debe ser mayor de 2000 dólares.
3. El sistema político debe ser bastante estable.
4. El país debe tener restricciones mínimas para la repatriación de divisas.

Una vez que AM/PM ha seleccionado un país potencial para sus negocios, evalúa más a fondo los siguientes aspectos del país:

1. Etapa de desarrollo industrial.
2. Relación personas/automóviles (este punto es importante ya que las tiendas AM/PM se ubican en las gasolineras).
3. Densidad de población en áreas rurales y urbanas.
4. Disponibilidad y costo de fuerza de trabajo.
5. Infraestructura (suministros y distribución, disponibilidad de equipo, costo de bienes raíces y confiabilidad de servicios públicos).
6. Reglamentos fiscales.
7. Aspectos legales.

AM/PM International utiliza las franquicias como método para extenderse de manera rápida y conveniente en la zona del Pacífico, Europa y Norteamérica. La lista de proyecciones para la siguiente expansión incluye Italia, Francia, Dinamarca, México, Brasil, Malasia y Canadá.

La estrategia de expansión internacional de AM/PM se apoya en tres puntos:

- Primero, utilizar el personal de las gasolineras para operar las tiendas.

Segundo, un gerente entrenado en Estados Unidos trabaja junto con el dueño de la licencia durante el primer año.

Tercero, desarrollar lo más pronto posible nuevas tiendas en los países seleccionados.

Fuente: Presentación de ARCO a estudiantes de la Facultad de Administración de USC, 5 de junio de 1991.

Ubicación de centros de servicio: un método heurístico

Un problema común para las organizaciones que proporcionan servicios es decidir cuántas unidades de servicio se deben ubicar en un área geográfica, y en qué lugar. Este problema se complica porque existen varias ubicaciones posibles y diversas opciones en cuanto al número absoluto de centros de servicio. Por consiguiente, puede llevar mucho tiempo encontrar una buena solución, no digamos la óptima, incluso para un problema relativamente pequeño. Por ejemplo, el número de soluciones posibles sería 243 para un problema que implica elegir entre una, dos o tres unidades que provean servicio a cuatro poblaciones geográficamente dispersas, incluso si sólo hay tres ubicaciones posibles para las unidades. Para ilustrar un método de búsqueda de las soluciones factibles para estos problemas, aplicamos a un ejemplo un método heurístico, basado en uno descrito por Alireza Ardalan.⁷

Suponga que un consorcio médico quiere establecer dos clínicas que brinden atención médica a las personas que habitan cuatro comunidades del condado Off Tackle, Ohio. Suponga que todos los lugares que se estudian están en las comunidades y que la población se distribuye uniformemente dentro de los límites de cada comunidad. Así mismo, suponga que se ha determinado el uso potencial de las clínicas por parte de los miembros de las comunidades, y que además se desarrollaron factores de ponderación que reflejan la importancia relativa del servicio a la población de cada comunidad (esta información se exhibe en el cuadro 8.15). El objetivo del

Ejemplo

CUADRO 8.15

Distancias, población y pesos relativos

De la comunidad	KILÓMETROS A LA CLÍNICA				Población de la comunidad (miles)	Ponderación relativa de la población
	A	B	C	D		
A	0	11	8	12	10	1.1
B	11	0	10	7	8	1.4
C	8	10	0	9	20	0.7
D	9.5	7	9	0	12	1.0

⁷ Alireza Ardalan, "An Efficient Heuristic for Service Facility Location", *Proceedings, Northeast Decision Sciences Institute Conference*, págs. 181-182, 1984.

problema es encontrar las dos clínicas que puedan dar servicio a todas las comunidades con menor costo ponderado de distancia de viaje.

Procedimiento

Paso 1. Elabore una tabla población-distancia ponderada a partir de la tabla inicial de datos, multiplicando la distancia por el factor de ponderación (cuadro 8.16). Por ejemplo, de la comunidad A a la clínica B es $11 \times 1.1 \times 10 = 121$.

Paso 2. Sume las cantidades en cada columna; escoja la comunidad con el menor costo y ubique allí la instalación (en nuestro ejemplo, la comunidad C). Recuerde que los costos se expresan como unidades ponderadas población-distancia.

CUADRO 8.16

Ponderación población-distancia

De la comunidad	A LA CLÍNICA			
	A	B	C	D
A	0	121	88	132
B	123.2	0	112	78.4
C	112	140	0	126
D	114	84	108	0

De la comunidad	A LA CLÍNICA UBICADA EN LA COMUNIDAD			
	A	B	C	D
A	0	121	88	132
B	123.2	0	112	78.4
C	112	140	0	126
D	114	84	108	0
	349.2	345	308	336.4

Paso 3. Compare, para cada renglón, el costo de cada entrada con las clínicas ya ubicadas. Si el costo es menor, no lo cambie; si es mayor, redúzcalo al menor de las instalaciones ya seleccionadas.

De la comunidad	A LA CLÍNICA UBICADA EN LA COMUNIDAD			
	A	B	C	D
A	0	88	88	88
B	112	0	112	78.4
C	0	0	0	0
D	108	84	108	0
	220	172	308	166.4

Paso 4. Si desea lugares adicionales, escoja la comunidad con el menor costo entre aquellas que no se han seleccionado (la comunidad D, en este ejemplo).

Paso 5. Repita el paso 3, y reduzca para cada renglón las entradas que sean superiores a la de la columna que acaba de seleccionar.

De la comunidad	A LA CLÍNICA UBICADA EN LA COMUNIDAD		
	A	B	D
A	0	88	88
B	78.4	0	78.4
C	0	0	0
D	0	0	0
	78.4	88	166.4

Repita los pasos 4 y 5 hasta seleccionar el número de lugares que desea. Si quisiera calcular toda la lista, se haría de la siguiente manera:

De la comunidad	A LA CLÍNICA UBICADA EN LA COMUNIDAD	
	A	B
A	0	0
B	78.4	0
C	0	0
D	0	0
	78.4	0

Ya está la solución para las cuatro localidades posibles del problema. Primero escoja C, luego D, después A y por último B. La lógica de este procedimiento es:

1. Es evidente la selección de la columna con menor costo total, ya que la ubicación representa el menor costo de viaje al lugar desde todas las comunidades.
2. Después de seleccionar una ubicación, ninguna persona cuerda de la comunidad viajaría a otra que fuera más costosa. Por ejemplo, en el paso 2, los residentes de la comunidad A preferirían ir a la clínica de la comunidad C (88), que ya se eligió, que a la clínica en B (121) o D (132). Por lo tanto, el número máximo de unidades ponderadas población-distancia que estarían dispuestos a pagar los habitantes de A es 88, por lo que podemos usar esta cantidad como límite superior. Sin embargo, si la clínica está en A, los residentes de esa comunidad preferirían su propia clínica (con un costo de 0); los residentes de la comunidad B optarían por C (112) en vez de A (123.2), pero no en vez de B (0) o D (78.4). Entonces, se reduce a 112 el costo de 123.2, pero permanecen sin cambios 0 y 78.4.
3. La comunidad se puede eliminar de la matriz una vez que se selecciona y se ajustan los costos, ya que los costos de la columna ya no tienen relevancia.

8.6 CONCLUSIÓN

Como sucede en varios temas de la dirección de operaciones, las decisiones de ubicar y planificar la capacidad se ven afectadas por los avances de la informática y la

globalización de la producción. Con el surgimiento de la empresa de red (o *corporación hueca*, que coordina la producción de varios proveedores en vez de producirlos internamente), cambia la manera en que la gerencia contempla su capacidad disponible, y el crecimiento de los mercados internacionales altera las estrategias de ubicación. Es evidente que hoy en día muchos de los ejecutivos de operaciones de las compañías tienen que tomar un avión para ver los distintos talleres que constituyen la capacidad de sus organizaciones.

8.7 PREGUNTAS DE REPASO Y DISCUSIÓN

- ¿Tiene sentido decir que una planta trabaja al 110% de su capacidad?
- Describa algunos límites prácticos de la economía de escala; es decir, ¿cuándo debe dejar de crecer una planta?
- ¿Cuáles son algunos de los problemas de equilibrio de capacidad a que se enfrentan las siguientes organizaciones o instalaciones?
 - Terminal aérea.
 - Centro de computación de una universidad.
 - Fabricante de ropa.
- ¿Cuáles son los principales aspectos de la planificación de la capacidad para las compañías extranjeras que ubican sus instalaciones en Estados Unidos?
- ¿Cuáles son algunos de los principales aspectos de capacidad en un hospital? ¿Cómo difieren de los de una fábrica?
- Elabore una lista de cinco razones fundamentales para que se mude a su ciudad una compañía de electrónica.
- ¿Cómo difieren las decisiones de planificación de instalaciones para servicios y de aquellas para la manufactura?
- La gerencia puede decidir aumentar la capacidad anticipándose a la demanda o como respuesta a ella. Mencione las ventajas y desventajas de ambos métodos.
- Por lo general, ¿qué motiva a las empresas a iniciar grandes proyectos de planificación de capacidad o de instalaciones, como el que se menciona en el cuadro 8.4?
- ¿Qué es el equilibrio de la capacidad? ¿Por qué es difícil alcanzarlo? ¿Qué métodos se emplean para tratar el desequilibrio en la capacidad?
- ¿Cómo modifica el surgimiento de las empresas de red (corporaciones huecas) la manera en que la gerencia planifica la capacidad?

8.8 PROBLEMAS

- Los gerentes de Banana Computers, Inc., fabricante de equipo periférico para computadores, han decidido, después de leer este capítulo, desarrollar un Plan Nacional Sexenal de Recursos para sus tres plantas. Se considerarán dos líneas de productos. La primera línea (familia de productos A) comprende la producción de discos duros con tiempo de acceso similar (28ms), pero con diferente capacidad (20, 40 y 80 megabytes). La segunda línea (familia de productos B) implica la producción de impresoras láser con capacidades de 8, 15 y 30 páginas por minuto. El pronóstico actual de ventas por año, a nivel de unidades de almacenamiento, es:

	UA	Familia de productos A	Familia de productos B
Pronósticos	1	5 700	1 200
	2	4 200	5 400
	3	2 900	2 800

El pronóstico de crecimiento de la familia de productos A, para los años 2 a 6, es 6, 5, 5, 6 y 7%, respectivamente. Para la familia de productos B, el pronóstico para el mismo periodo es 8, 8, 9, 9, y 7%, respectivamente.

Los valores de planificación de personal y equipo para las dos familias de productos son:

	UA	Familia de productos A	Familia de productos B
Valores del equipo planificado	1	10 000	3 000
	2	7 000	10 000
	3	6 000	7 000
Valores del personal planificado	1	12	12
	2	12	12
	3	10	10

- Obtenga un pronóstico de crecimiento a seis años, a nivel de unidades de almacenamiento, para Banana Computers, Inc.
- Calcule la demanda de equipo y de personal para las dos familias de productos.
- El departamento de mercadotecnia de Banana acaba de preparar una gran campaña publicitaria para la familia de productos B, y los resultados de la campaña tendrán un tremendo efecto en las ventas de dichos productos durante los próximos dos años. La siguiente tabla muestra la ampliación de los pronósticos para la familia de productos B, de acuerdo con el departamento de mercadotecnia de Banana. Modifique sus respuestas a *a* y *b* para incluir los efectos de la campaña. Los pronósticos para los años 4 a 6 serán los mismos que se calcularon en la parte *a*.

	UA	FAMILIA DE PRODUCTOS B		
		Este año	Año 2	Año 3
Pronósticos	1	1 200	2 000	2 500
	2	5 400	8 000	10 000
	3	2 800	4 000	5 000

- Sam Malone, dueño del bar Cheers, se muda a Los Ángeles y no sabe si alquilar un bar cerca de la autopista Ventura, en Hollywood, o construir uno nuevo cerca de una bifurcación de la autopista Slauson, en Inglewood. El bar se construirá en un terreno alquilado por el estado, que dentro de 10 años será parte de una nueva intersección. Por consiguiente, el valor residual al término del periodo de diez años será nulo. El alquiler inicial será por dos años. Si al final del periodo el dueño está satisfecho, extenderá el alquiler otros ocho años. Sam considera que la probabilidad de renovar el contrato es del 50%. Si cancela el alquiler, Sam sabe de otro bar cercano disponible, pero el alquiler será 30% mayor que el actual. Con esta información y la que se presenta en seguida, prepare un árbol de decisión que ayude a Sam a decidir entre los dos

* En el apéndice H se proporcionan las soluciones para los problemas 1a, 1b y 2.

lugares (utilice un horizonte de planificación de 10 años). No considere el costo del capital.

Variables de decisión	Sitio en Hollywood	Probabilidad	Sitio en Inglewood	Probabilidad
Costo anual del alquiler	\$250,000			
Costo de construcción			\$1 000 000	
Ingresos brutos por año				
Ventas altas	700 000	0.5	400 000	0.5
Ventas medianas	500 000	0.3	300 000	0.3
Ventas bajas	300 000	0.2	200 000	0.2
Costos operativos por año	200 000		200 000	

3. Cool Air, fabricante de equipos de aire acondicionado para automóviles, produce actualmente su línea XB-300 en tres lugares distintos, las plantas A, B y C. En fechas recientes, la gerencia decidió fabricar todos los compresores, uno de los principales componentes del producto, en una instalación aparte, la planta D.

Utilice el método de centro de gravedad y la información que se exhibe en los cuadros 8.17 y 8.18 para determinar la mejor ubicación de la planta D. Suponga una relación lineal entre volumen y costo de los envíos (no hay cargos adicionales).

4. Use la información del problema 3. Suponga que la gerencia decide desplazar 2000 unidades de producción de la planta B a la planta A. ¿Modifica esto la propuesta de ubicación para la planta D, la instalación de producción de compresores? De ser así, ¿dónde debe ubicarse la planta D?
5. Una cadena de farmacias piensa abrir cuatro tiendas en una ciudad de tamaño medio. Sin embargo, los recursos son limitados y sólo pueden abrirse dos este año.
- Dada la siguiente matriz, que muestra los costos ponderados población-distancia para las cuatro áreas y los cuatro sitios para las tiendas, seleccione las dos que deben abrirse primero.
 - Si se obtienen fondos adicionales, ¿cuál deberá ser la tercera tienda que se abra?

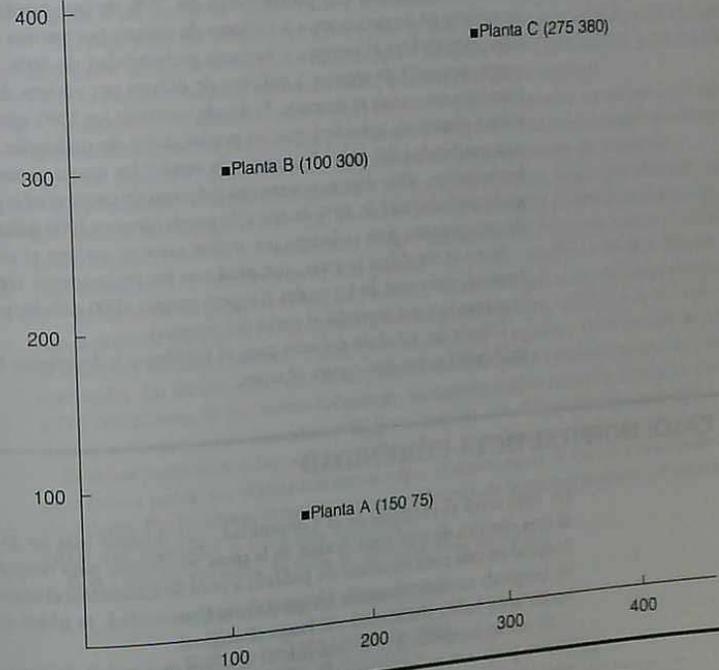
Área geográfica	Tienda			
	1	2	3	4
1	0	20	160	60
2	80	0	40	80
3	120	80	0	100
4	80	100	60	0

6. Una empresa considera cuatro ubicaciones posibles para sus oficinas en determinada ciudad. A final de cuentas, a la empresa le gustaría tener una oficina en cada ubicación, pero en este momento los gerentes sólo quieren abrir una; no obstante, les gustaría conocer la secuencia de apertura de las cuatro oficinas. A continuación se muestra una matriz con los costos de apertura de cada oficina en cada área. Determine el orden en que deberán abrirse.

Área geográfica	Oficina			
	A	B	C	D
A	0	34	40	30
B	24	0	36	54
C	60	20	0	36
D	50	40	60	0

CUADRO 8.17

Centro de ubicación de plantas



CUADRO 8.18

Cantidad de compresores que requiere cada planta

Planta	Compresores requeridos por año
A	6000
B	8200
C	7000

7. Un constructor encontró un terreno que le gustaría comprar para construir en él. Lo que aún no sabe es qué construirá. Actualmente, la calificación de la zona estipula cuatro hogares por cada 4000 metros cuadrados, pero él piensa solicitar una recalificación. Lo que construya depende de la aprobación de su solicitud y de los consejos que surjan de su análisis de este problema. Con su ayuda y los datos del constructor, el proceso de decisión se reduce a los siguientes costos, alternativas y probabilidades:

Costo del terreno: 2 millones de dólares

Probabilidad de recalificación de la zona: 0.60.

Si recalifican la zona, existirán costos adicionales por 1 millón de dólares, para nuevos caminos, alumbrado, etcétera.

Si recalifican la zona, el contratista debe decidir si construye un centro comercial o 1500 apartamentos, que son posibles de acuerdo con el plan tentativo. Si construye el centro comercial, hay una probabilidad del 70% de que pueda venderlo a una cadena de tiendas de departamentos 4 millones de dólares por encima de su costo de construcción, que excluye el terreno, y hay una probabilidad de 30% de que pueda venderlo a una compañía de seguros 5 millones de dólares por encima del costo de construcción (también sin incluir el terreno). Si decide construir los 1500 apartamentos, en lugar del centro comercial, considera que las posibilidades de utilidades son las siguientes: Hay una posibilidad del 60% de que pueda vender los apartamentos a una corporación de bienes raíces, 3000 dólares por encima del costo de construcción para cada apartamento, y una probabilidad de 40% de que sólo pueda obtener 2000 dólares por encima del costo de construcción para cada uno (en ambos casos se excluye el costo del terreno).

Si no se recalifica la zona, cumplirá con los reglamentos vigentes y construirá 600 hogares, cada uno de los cuales él espera vender 4000 dólares por encima del costo de construcción (excluyendo el costo del terreno).

Dibuje un árbol de decisión para el problema y determine la mejor solución y las utilidades netas que espera obtener.

8.9 CASO: HOSPITAL DE LA COMUNIDAD*

En 1983 cerró el Hospital de la Comunidad, que durante más de 25 años había atendido al área céntrica de una gran ciudad de la costa occidental, para después construir un nuevo hospital en una zona escasamente poblada a unos 50 kilómetros al oeste de la ciudad. El nuevo hospital, también llamado Hospital de la Comunidad, se ubicó en un terreno que por varios años había pertenecido al hospital original.

El nuevo hospital, que se inauguró el primero de octubre de 1983, es una estructura de cuatro pisos con todas las innovaciones tecnológicas para el cuidado de la salud. El primer piso alberga el departamento de emergencias, la unidad de terapia intensiva, radiología, laboratorios, departamentos de terapia, farmacia, limpieza y mantenimiento, suministros y otras operaciones de apoyo. Todas las oficinas administrativas, como la de dirección, el departamento de registros médicos, los servicios especiales, etc., se encuentran en el segundo piso, al igual que la cafetería y la cocina. Los dos pisos superiores contienen habitaciones para los pacientes, y están divididos en unidades quirúrgicas, médicas, pediátricas y obstétricas.

* Reimpreso con autorización de *Hospital Cost Containment through Operations Management*, publicado por la American Hospital Association. Copyright 1984.

El Hospital de la Comunidad tiene una capacidad total de 177 camas, asignadas de la siguiente manera:

Unidad	Número de camas
Quirúrgica	45
Médica	65
Pediátrica	35
Obstétrica	20
Cuidados intensivos	12

En los primeros seis meses de funcionamiento, las cosas resultaron un poco caóticas para el director del hospital, Sam Jones. Ocupaba todo su tiempo en la infinidad de cosas que acompañan al arranque de actividades de una nueva instalación, como ver que se reparara el equipo con averías, hacer los arreglos para la contratación y capacitación del personal, establecer procedimientos y programas de trabajo, tomar las decisiones con respecto a compras y asistir a un sinnúmero de conferencias y reuniones.

Durante todo ese periodo, el señor Jones recibía preocupantes informes de su contralor, Bob Cash, acerca de la situación financiera del Hospital de la Comunidad, pero decidió que estos asuntos financieros esperaran hasta que la situación se calmara.

Finalmente, en abril, el señor Jones pidió a Cash que preparara un informe completo de la situación financiera del hospital y que lo presentara a él y a su nuevo asistente administrativo, Tim Newman, quien acababa de titularse en administración de hospitales.

En su informe, el señor Cash declaró: "Como ustedes saben, desde que abrimos, en octubre, hemos funcionado con déficit. Por supuesto, esperábamos perder dinero al inicio, hasta poder establecernos en la comunidad y atraer a los pacientes. Teníamos razón: el primer mes perdimos casi 221 000 dólares; el mes pasado, en marzo, perdimos 58 000 dólares.

"La razón de las pérdidas es bastante sencilla. Nuestros ingresos se relacionan directamente con la carga de pacientes. Por otra parte, nuestros gastos son fijos, alrededor de 235 000 dólares al mes para sueldos y salarios, 75 000 para suministros y equipo y otros 10 000 de intereses mensuales. En los seis meses que llevamos aquí nuestro déficit operativo acumulado asciende a 715 000 dólares, lo que hemos subsanado con nuestro crédito bancario. Supongo que podemos obtener préstamos dos meses más, pero después, no sé que vamos a hacer."

El señor Jones respondió: "Como dijiste, Bob, esperábamos perder dinero al principio, pero nunca pensé que durara seis meses o que el déficit fuera de casi tres cuartos de millón de dólares. Por lo menos, el mes pasado estuvo mucho mejor que el primero. ¿Tienes algunas cifras que muestren la tendencia mensual?"

Bob Cash colocó sobre la mesa la siguiente hoja de cálculo:

HOSPITAL DE LA COMUNIDAD
Estado operativo semestral
Octubre de 1983-Marzo de 1984
(en miles de dólares)

	1983			1984			Total
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Ingresos							
Costos (sin incluir intereses)	\$ 101	\$ 163	\$ 199	\$ 235	\$ 245	\$ 262	\$ 1205
Sueldos y salarios			239	235	236	236	1410
Suministros, otros	232	233	74	75	73	75	450
Total	80	73	313	310	309	310	1860
Pérdidas	312	306	10	10	10	10	60
Costo operativo	10	10	10	10	10	10	60
Costo diario promedio	\$(221)	\$(153)	\$(124)	\$(85)	\$(74)	\$(58)	\$(518)
Utilización	42%	68%	47%	55%	58%	62%	

PREGUNTAS

1. Evalúe la situación del Hospital de la Comunidad en lo que se refiere a las tendencias en el censo diario a la tasa de ocupación y a los ingresos.
2. ¿Se ha presentado algún cambio en los ingresos por paciente-día en el periodo de seis meses? Suponga meses de 30 días.
3. ¿A qué nivel de capacidad operará sin pérdidas el hospital?
4. ¿Qué preguntas podemos hacer acerca del nivel constante de salarios y suministros con respecto a las operaciones en el pasado y en el futuro?

8.10 BIBLIOGRAFÍA

- Blackburn, Joseph D., *Time-Based Competition: The Next Battle Ground in American Manufacturing*, Homewood, Ill., Richard D. Irwin, 1991.
- Coyle, John J. y Edward J. Bardi, *The Management of Logistics*, segunda edición, St. Paul, West Publishing, 1980, págs. 294-298.
- Francis, R. L. y J. A. White, *Facilities Layout and Location: An Analytical Approach*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1987.
- Graziano, Vincent J., "Production Capacity Planning—Long Term", *Production and Inventory Management* 15, núm. 2, págs. 66-80, segundo trimestre de 1974.
- Heskett, J. L., W. E. Sasser, Jr. y C. W. L. Hart, *Service Breakthroughs: Changing the Rules of the Game*, Nueva York, Free Press, 1990.
- Shycon, Harvey N., "Site Location Analysis, Cost and Customer Service Consideration", *Proceedings of the Seventeenth Annual International Conference*, American Production and Inventory Control Society, 1974, págs. 335-347.
- Skinner, Wickham, "The Focused Factory", *Harvard Business Review*, págs. 113-121, mayo-junio de 1974.
- Tompkins, James A. y John A. White, *Facilities Planning*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1984.
- Wheelwright, Steven C., editor, *Capacity Planning and Facilities Choice: Course Module*, Boston, Harvard Business School, 1979.

Suplemento

Programación lineal

EPÍGRAFE

Sin duda alguna, los modelos de optimización lineal son una de las aplicaciones comerciales que tienen más éxito en la investigación de operaciones; de hecho, hay pruebas de que son las de mayor impacto económico.

Harvey Wagner

TÉRMINOS CLAVE

Programación lineal gráfica
 Funciones objetivo
 Restricciones
 Polígono convexo
 Método simplex
 Variables de holgura
 Maximización y minimización
 Precios sombra
 Análisis de sensibilidad
 Programación entera
 Método de transporte
 Método de asignación
 Algoritmo de Karmarkar
 Sistema general de modelización algebraica (GAMS)

ESQUEMA DEL SUPLEMENTO

- §8.1 EL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL 397
- §8.2 PROGRAMACIÓN LINEAL GRÁFICA 397
- §8.3 EL MÉTODO SIMPLEX 401
- §8.4 PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN COMERCIALES PARA LA PROGRAMACIÓN LINEAL 415
- §8.5 MÉTODO DE TRANSPORTE 422
- §8.6 MÉTODO DE ASIGNACIÓN 430
- §8.7 EL ALGORITMO DE KARMARKAR PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL 433
- §8.8 SISTEMA GENERAL DE MODELIZACIÓN ALGEBRAICA (GAMS) 438
- §8.9 CONCLUSIÓN 440
- §8.10 PREGUNTAS DE REPASO Y DISCUSIÓN 440
- §8.11 PROBLEMAS 441
- §8.12 BIBLIOGRAFÍA 450