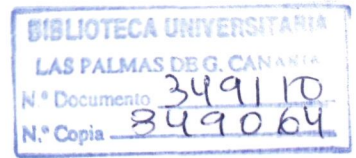


Las decisiones estratégicas del área de producción/operaciones. Problemas resueltos

Alicia M^a Bolívar Cruz
Tomás Fco. Espino Rodríguez
M^a del Pino Medina Brito
Silvia Sosa Cabrera





MANUALES DOCENTES UNIVERSITARIOS

COLECCIÓN

ÁREA DE CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS • Nº 15

***Las decisiones estratégicas del
área de producción/operaciones.
Problemas resueltos***

Alicia M^a Bolívar Cruz
Tomás Fco. Espino Rodríguez
M^a del Pino Medina Brito
Silvia Sosa Cabrera



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Vicerrectorado de Planificación y Calidad

2006



COLECCIÓN: MANUALES DOCENTES UNIVERSITARIOS
LAS DECISIONES ESTRATÉGICAS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN/OPERACIONES.
PROBLEMAS RESUELTOS, N° 15

© del texto:
los autores

© de la edición:
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
VICERRECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y CALIDAD, 2006

Maquetación y diseño:
Servicio de Publicaciones de la ULPGC

ISBN: 84-96502-84-8
Depósito Legal: GC 526-2006

Impresión:
Servicio de Reprografía, Encuadernación y Autoedición ULPGC

Impreso en España. *Printed in Spain*

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del «Copyright», bajo las sanciones establecidas por las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático

Índice

PRESENTACIÓN	7
INTRODUCCIÓN	9
1. LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS	13
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
✓ 1. El modelo de puntuación	17
✓ 2. El análisis del punto muerto o de equilibrio	19
3. Problemas propuestos	24
2. LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	39
INTRODUCCIÓN	41
OBJETIVOS	43
✓ 1. El equilibrado de la cadena de montaje	43
2. Problemas propuestos	51
3. LA CAPACIDAD DEL SISTEMA PRODUCTIVO	65
INTRODUCCIÓN	67
OBJETIVOS	68
✓ 1. Los árboles de decisión	69
✓ 2. La teoría de colas	73
3. Problemas propuestos	79

4. LA LOCALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES	99
INTRODUCCIÓN	101
OBJETIVOS	102
✓ 1. Los factores ponderados	102
✓ 2. El método de transporte	103
✓ 3. El método heurístico de Ardan	117
4. Problemas propuestos	121
5. LA CALIDAD DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS	133
INTRODUCCIÓN	135
OBJETIVOS	136
1. Los gráficos de control por variables	136
2. Los gráficos de control por atributos	140
3. Problemas propuestos	144
BIBLIOGRAFÍA	151

Presentación

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ha hecho una apuesta por la modernidad que le lleva a la incorporación paulatina en el espacio europeo de educación superior. Una de las acciones en esta línea es la dotación de un Programa de innovación y mejora de la calidad destinado a la publicación de manuales docentes de asignaturas de las diferentes áreas de conocimiento.

La convocatoria del año 2005 pretende conseguir dos grandes objetivos: ofrecer al profesorado universitario la posibilidad de publicar unos materiales de enseñanza que le permita una actividad docente de calidad y apoyar la publicación de materiales que faciliten el aprendizaje de los estudiantes universitarios para mejorar su rendimiento académico. Los manuales y materiales de autoaprendizaje se publican en una colección que respeta las especificaciones de un diseño institucional, aunque permite las desviaciones imprescindibles para adecuarlo a las exigencias de las áreas de conocimiento y de las materias concretas.

El objetivo fundamental de esta apuesta es la elaboración y edición de materiales de calidad que facilitan los procesos de enseñanza y el aprendizaje estructurado y significativo de los estudiantes. Somos conscientes de que la construcción de contenidos tiene una importancia estratégica decisiva tanto en el desarrollo de la sociedad de la información como en la calidad de la oferta formativa de las universidades. Por esta razón, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria está decidida a potenciar la producción docente de sus profesores, creadores e investigadores para desarrollar programas formativos de calidad. Además, estamos empeñados en probar la confianza de la universidad en el talento de sus recursos humanos y articular con lucidez y decisión el impacto social de los mismos.

Es importante mostrar mi agradecimiento a los profesores por la acogida prestada a esta iniciativa, la flexibilidad para ajustar los contenidos a las exigencias de un diseño de publicación institucional sin perder un ápice de rigor científico y la disponibilidad para corregir una y otra vez los textos. Y al Servicio

de Publicaciones de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria por su competencia profesional, dedicación, diligencia y eficiencia.

Estoy convencido de que estos manuales docentes y materiales de auto-aprendizaje serán una herramienta importante para el aprendizaje de nuestros estudiantes que les ayudará a construir conocimientos significativos y a lograr el éxito académico y personal. Con esta intención hemos dinamizado este proyecto que pretende además mejorar cada día la calidad de nuestra oferta formativa.

Manuel Lobo Cabrera

Rector

Introducción

El entorno económico actual podría describirse como caótico, dinámico, globalizado e hipercompetitivo, lo que obliga, cada vez con mayor frecuencia, a que las empresas sustenten sus ventajas competitivas en aspectos relacionados con la calidad de sus productos y/o servicios y la mejora de la productividad de sus recursos. Se puede intuir, por tanto, la importancia de la competitividad como el fundamento de la supervivencia y el crecimiento a largo plazo en la economía actual. En este marco, *grosso modo*, los tres componentes básicos de la estrategia de una empresa son: (a) la estrategia de marketing y ventas, que define los mercados en los que la empresa competirá, identifica las necesidades de consumo de estos mercados y determina la capacidad para introducir nuevos productos, (b) la estrategia de diseño, que se centra en cómo la empresa adapta su capacidad tecnológica a las necesidades del mercado para desarrollar las características específicas de los bienes y servicios que satisfagan a los clientes, y (c) la estrategia de producción/operaciones, que establece los parámetros de cómo los recursos de la empresa se transforman en bienes y servicios que consigan las características específicas diseñadas previamente.

Tradicionalmente, la estrategia corporativa ha enfatizado las consideraciones financieras y de marketing, siendo la estrategia de operaciones la que menor atención ha recibido. De hecho, en algunas organizaciones, las operaciones no se han considerado como un factor de la estrategia corporativa, y consecuentemente, los directores de esta área funcional implantaban los planes resultantes de las perspectivas financieras y de marketing, llegando incluso a realizar operaciones ineficientes.

Sin embargo, cada vez con mayor frecuencia la alta dirección ha reconocido que la estrategia de operaciones es vital para el éxito a largo plazo de una organización y la consecución de la ventaja competitiva, entendiéndose como tal la “habilidad” que tiene una empresa para conseguir una superioridad

sobre sus competidores. Así, la organización puede centrar su ventaja en costes bajos, precios bajos, calidad de productos o servicios, garantía de productos, entrega y servicio especializado, flexibilidad, innovación en productos y en procesos, etc. De este modo, adquiere especial relevancia la rapidez en la entrega de los productos, la adaptación a las necesidades cambiantes de los clientes, la incorporación de las tecnologías y de los proveedores como métodos para reducir costes, la cercanía a los clientes, etc. En este marco, el área de producción de cualquier empresa adquiere un papel vital para la supervivencia y el éxito de la misma, pero no de forma aislada, sino fundamentándose en las interrelaciones con las otras áreas funcionales de la organización.

Ahora bien, la materia central de este manual versa en torno a las aportaciones del área de producción para que la empresa logre la ventaja competitiva propuesta, ya que no se puede olvidar que el fin último no debe ser la consecución de un objetivo departamental concreto, sino el adecuado equilibrio entre todos para obtener las metas globales de la empresa. En este sentido, las decisiones clave para la consecución de los objetivos de producción/operaciones y, consecuentemente, para el logro de la ventaja competitiva de la organización, se pueden dividir en dos grandes grupos: decisiones estratégicas o a largo plazo y decisiones tácticas o a corto plazo.

Las decisiones estratégicas del área de operaciones tratan sobre productos, procesos e instalaciones, y tienen efectos a largo plazo sobre la actividad de la organización, es decir, una vez tomada la decisión, su corrección en el corto plazo es prácticamente imposible o muy costosa debido a la gran cantidad de recursos que supone su ejecución. Entre las principales decisiones estratégicas se pueden señalar las relativas a la selección y diseño del producto o servicio que se va a fabricar o prestar, la selección del proceso que permite la fabricación de dicho producto, la determinación de la capacidad productiva de nuestras instalaciones y la localización de las mismas, las decisiones relativas al factor humano y las directrices generales de gestión de calidad.

Las decisiones tácticas del área de operaciones son más rutinarias y repetitivas, y se refieren a la planificación de la producción para satisfacer la demanda del mercado y al control de la planificación para detectar desviaciones, y proponer las acciones correctoras, tanto sobre los planes como sobre la ejecución de los mismos. Entre las principales decisiones tácticas suelen señalarse la planificación a medio plazo y la programación de la producción (cuánto, cuándo y dónde producir), el nivel de inventario necesario

para satisfacer la demanda, la garantía del nivel de calidad de los productos y las tareas de mantenimiento preventivo de la maquinaria.

En la actualidad son muchos los puestos de trabajo relacionados directamente con el área de operaciones: director de producción, director de operaciones, director de planta, director de fábrica, director de control de la producción, director de inventarios, director de calidad, ingeniero de procesos, etc. Las tareas asociadas a la dirección de operaciones, aunque tienen que ver con elementos tangibles relacionados con la fabricación de productos, llevan implícito un elevado contacto con personas (trabajadores, clientes, etc.). Por ello son cada vez más las personas interesadas en asumir las funciones relacionadas con la dirección de operaciones, demandando las empresas a Licenciados en administración de empresas, ingenieros en organización industrial, ingenieros superiores con conocimientos de gestión, máster en gestión (MBA) o similar. De hecho, la dispersión de titulaciones requeridas por las empresas ha sustentado la incorporación de las asignaturas relacionadas con el área de producción en las diferentes carreras universitarias. Así, tanto Licenciados en Administración y Dirección de Empresas, Diplomados en Estudios Empresariales, Ingenieros Técnicos Industriales en sus diferentes especialidades como Ingenieros deben conocer el funcionamiento del área de producción de una organización, sea ésta manufacturera o de servicio, ya que las decisiones que se toman en dichos puestos de trabajo afectan a aspectos como la productividad, la calidad, el control de costes, la programación, la motivación de los empleados y la mejora de la eficacia y de la eficiencia de la organización.

Tomando como referencia la distinción entre las decisiones estratégicas y las tácticas del área de producción, el manual que se presenta se centra en las decisiones a largo plazo de la dirección de operaciones y, de modo específico, en las herramientas para su análisis, ya que cualquier directivo relacionado con este área debe ser capaz de responder a preguntas tales como: ¿se debe ubicar la instalación cerca de los clientes o de los proveedores?, ¿se debe utilizar principalmente mano de obra o invertir en automatización y otras tecnologías avanzadas?, ¿será preferible una instalación de gran capacidad o varias de menor capacidad?, ¿cómo debe ser el proceso de producción de determinados productos?, ¿cómo debe responder el departamento de producción ante los cambios en la demanda de productos?, etc.

En este sentido, la estructura seguida en este manual responde a las principales decisiones estratégicas del área de producción. Así, el primer capítulo

se dedica al estudio de la selección de los productos y/o servicios que la empresa desea ofrecer, mostrando las técnicas del modelo de puntuación y el punto de equilibrio como herramientas útiles para dicha selección. El proceso de elaboración de dichos productos será objeto de análisis en el segundo capítulo, principalmente centrado en el estudio del equilibrado de líneas de montaje. La decisión relativa a la capacidad de las unidades productivas será tratada en el capítulo tercero de este manual, estableciendo una clara distinción entre los elementos a tener en cuenta en las empresas productoras y en las de servicio. Las técnicas que se utilizarán en este manual para la determinación de la capacidad productiva se centran en los árboles de decisión y en la teoría de colas. El cuarto capítulo se dedica a la determinación de la localización, atendiendo tanto a criterios de minimización de costes como de maximización de ingresos, en función de si la empresa es de fabricación o de servicios. En este capítulo se explicarán como herramientas de apoyo, los métodos de factores ponderados, el transporte y el método heurístico de Ardalan. Por último, el quinto capítulo se centra en las decisiones de calidad y la importancia del control de la calidad de los procesos productivos de la empresa, analizando para ello los gráficos de control tanto de variables como de atributos.

Así pues, este manual pretende ayudar a comprender el funcionamiento de la dirección de operaciones y las interrelaciones de esta disciplina con el resto de áreas funcionales de cualquier organización. Muchos manuales de producción ya publicados tienen un enfoque marcadamente teórico, explicando en profundidad las diferentes decisiones a adoptar, y aportando algunos ejemplos a las mismas. Sin embargo, en este manual no se pretende aportar contenido teórico, salvo las pinceladas necesarias para comprender las problemáticas a analizar. Para ello, se apuesta por introducir la decisión estratégica objeto de estudio y explicar los principales métodos o herramientas disponibles para ayudar a la toma de decisiones. De este modo, en cada uno de los capítulos se presenta la importancia de la decisión a tomar, de cara a que el lector sea consciente de la relevancia de la misma para la empresa, y se introducen las diferentes técnicas o herramientas de apoyo a la decisión. En este sentido, se plantea una problemática, se desarrolla la misma y se explica detalladamente el ejemplo, facilitando así al lector la comprensión y seguimiento de la metodología utilizada en cada caso. Además, y en aras a que el lector ejercite la técnica utilizada, se proponen problemas relacionados con la situación analizada y con las técnicas explicadas, aportando la solución al mismo para que el interesado pueda comprobarla.

1

capítulo

La selección de productos

1. LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS

1. El modelo de puntuación
2. El análisis del punto muerto o de equilibrio
3. Problemas propuestos

INTRODUCCIÓN

Las decisiones estratégicas más importantes que una empresa toma están relacionadas con la selección y el desarrollo de nuevos productos y es que dichos productos determinan el crecimiento, la rentabilidad y la dirección futura de la empresa. La **estrategia de productos y servicios** consiste esencialmente en la selección, definición y diseño de los mismos, debiendo poner la alta dirección los medios oportunos para asegurar el logro de la ventaja competitiva. La compañía que reúna las necesidades del consumidor en un producto o servicio estimulante, útil y de calidad encuentra compradores.

El desarrollo de un nuevo producto o servicio comienza con la concepción de una idea y atraviesa diversas fases de diseño y análisis hasta que se detallan las especificaciones del mismo. Es importante destacar que la decisión que se adopte sobre el producto o servicio a ofrecer marcará las decisiones que se tomen en las distintas áreas de la Dirección de Operaciones.

Concretamente, el proceso de desarrollo de un producto abarca la generación de ideas, la selección del producto, el diseño preliminar del producto, la construcción del prototipo, la fase de prueba, el diseño definitivo del producto y, por último, la producción del mismo.

Las ideas que surgen en la primera etapa (*i.e.*, generación de ideas) sufren un conjunto de pruebas y exámenes antes de recibir la aprobación necesaria para que se inicie su diseño y desarrollo, puesto que si no se eliminan las ideas que no tienen un alto potencial de éxito se ocasionan elevados costes en su desarrollo. Es entonces cuando, en la segunda etapa del desarrollo de un producto (*i.e.*, análisis de selección de productos) se emplean diferentes técnicas (*e.g.*, modelo de puntuación, gráficas de punto muerto o punto de equilibrio) para identificar cuáles son las mejores ideas, no pretendiendo en ningún

momento llegar a una decisión definitiva de producción y comercialización de un producto.

Este proceso preliminar de valoración involucra fundamentalmente a los departamentos de Marketing, Operaciones y Finanzas. Los criterios seguidos por Marketing afectan, por ejemplo, a las expectativas promocionales, suficiencia de la demanda, sinergia con las líneas de productos existentes, competencia actual y potencial, relación satisfacción-precio, rendimiento, fiabilidad, disponibilidad y calidad.

El departamento de Operaciones estará preocupado por la factibilidad técnica del bien o servicio, esto es, si se podrán desarrollar adecuadamente las operaciones necesarias para su fabricación. Esta preocupación comprende la compatibilidad del nuevo proceso productivo con los equipos, procesos, conocimientos y habilidades, plantas, proveedores, etc., ya existentes. Ha de determinarse asimismo la posibilidad de patentar el producto o si, por el contrario, pudieran infringirse derechos de patentes, en cuyo caso será necesario estudiar los medios legales a emplear para evitarlo.

El área de Finanzas se preocupará por las necesidades de financiación de capital, así como por la rentabilidad esperada. Los aspectos a considerar serán, entre otros, el riesgo del proyecto, la longitud del ciclo de vida, los márgenes de beneficio esperados, las necesidades iniciales de inversión, la rentabilidad de ésta y los flujos de caja del proyecto. Las técnicas a disposición de este departamento son varias y ofrecen una primera estimación de las ventajas que puede aportar el nuevo producto en comparación con otras posibles opciones de inversión de la empresa. Entre ellas podemos citar el plazo de recuperación, la rentabilidad sobre la inversión, el valor actual neto o valor capital o, incluso en algunas ocasiones, el análisis del punto muerto.

Centrando la atención en la etapa de selección de ideas se explicarán los métodos del modelo de puntuación y el análisis del punto muerto.

OBJETIVOS

- Conocer la importancia del proceso de desarrollo de nuevos productos desde una perspectiva multifuncional.
- Profundizar en las aportaciones del área de producción al proceso de desarrollo de productos.

- Conocer la utilidad del modelo de puntuación y del punto de equilibrio como herramientas de apoyo a la selección de productos.
- Utilizar las técnicas mencionadas para la selección de productos.

1. EL MODELO DE PUNTUACIÓN

En general, para obtener una medida cuantitativa del éxito de los productos a menudo se utiliza el **modelo de puntuación**. Para desarrollar un modelo de puntuación se determina una serie de criterios, los cuales a su vez son susceptibles de ser desagregados en atributos. Por ejemplo, para el criterio “desarrollo de productos” generalmente se incluyen atributos como la amplitud del tiempo requerido para desarrollarlo, la experiencia de la empresa para hacer productos similares, la amplitud de la vida del producto y la disponibilidad de los materiales y equipo. A continuación se establece una escala de valoración y se asigna un valor o una puntuación a cada uno de los atributos. Así, los niveles de la escala del “tiempo de desarrollo” de un producto se pueden establecer en, por ejemplo, (1) menos de seis meses, (2) entre seis meses y un año, (3) de uno a dos años, (4) más de dos años. La puntuación asignada a cada nivel refleja los beneficios relativos del mismo. Después la alta dirección revisa y evalúa los resultados del modelo de puntuación.

El modelo de puntuación, es fundamentalmente una técnica de previsión basada en el juicio de una o de varias personas expertas en la materia. El uso de dicho modelo ayuda a la alta dirección a resumir de forma conveniente variables importantes y proporciona un medio para analizar y discutir el proceso de selección inicial. Sin embargo, es importante darse cuenta de que la puntuación elegida es el resultado de los análisis de los diversos expertos ya sean externos como internos a la organización.

El modelo de puntuación presentado puede aplicarse tanto si los atributos de todos los criterios tienen la misma importancia como si no, en cuyo caso se han de ponderar las valoraciones. Los modelos de puntuación proporcionan una medida cuantitativa del potencial del producto. Así, es posible valorar la idea en función del peso específico o importancia de cada factor analizado.



EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MODELO DE PUNTUACIÓN A LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS

El departamento de producción de una determinada empresa está intentando identificar el producto que le proporcionará mayor éxito de los dos que se han identificado en la fase de generación de ideas. Para ello desea aplicar el modelo de puntuación teniendo en cuenta las puntuaciones medias dadas por los expertos a los atributos, en una escala de 1 a 10, así como la importancia relativa que cada uno a los criterios tiene para la dirección, información que se recoge en la siguiente tabla.

CRITERIO	PUNTUACIÓN MEDIA	
	IDEA 1	IDEA 2
Desarrollo del producto (0,5)		
Tiempo del desarrollo	6	7
Experiencia	5	5
Duración de la vida del producto	7	4
Disponibilidad de materiales	3	5
Disponibilidad de mano de obra	4	1
Marketing (0,3)		
Sinergia con la líneas de productos existentes	3	4
Suficiencia de la demanda	7	6
Nivel de competencia	5	3
Financiación (0,2)		
Nivel de la tasa de retorno (TIR)	2	1
Inversión en capital	4	6

SOLUCIÓN

Sumando las puntuaciones desagregadas para cada uno de los factores de las dos ideas se obtienen las siguientes puntuaciones.

CRITERIO	PUNTUACIÓN TOTAL		PUNTUACIÓN MEDIA	
	IDEA 1	IDEA 2	IDEA 1	IDEA 2
Desarrollo del producto (0,5)	25	22	$25/5=5$	$22/5=4,4$
Marketing (0,3)	15	13	$15/3=5$	$13/3=4,33$
Financiación (0,2)	6	7	$6/2=3$	$7/2=3,5$

Para obtener las puntuaciones definitivas se debe considerar la importancia relativa de cada criterio. Asimismo, se ha de tener en cuenta que la suma de los factores de ponderación debe ser uno o cien, en el caso de estar expresado en porcentaje.

	PUNTUACIÓN
IDEA 1	$5 \times 0,5 + 5 \times 0,3 + 3 \times 0,2 = 3$
IDEA 2	$4,4 \times 0,5 + 4,33 \times 0,3 + 3,5 \times 0,2 = 4,199$

El decisor podría elegir la idea 2, que obtiene una puntuación superior a la idea 1, aunque no representa una idea muy buena al no superar la puntuación media de la escala considerada (1 a 10).

En el caso de que no se proporcionara la importancia relativa se ha de entender que todos los criterios son igual de importantes y, por lo tanto, para calcular la puntuación final habría que dividir por el número de criterios o atributos. Es decir, se realizaría la media aritmética.

2. EL ANÁLISIS DEL PUNTO MUERTO O DE EQUILIBRIO

A diferencia del modelo de puntuación que tiene en cuenta los distintos atributos o factores que pueden afectar a diferentes departamentos de la empresa, la técnica del análisis del punto muerto considera solamente aspectos relacionados con el beneficio potencial del producto o servicio a seleccionar.

Esta técnica se emplea a través de las denominadas gráficas de punto muerto, PM, que relacionan costes, ingresos y beneficios con volumen de producción. El empleo de esta técnica requiere identificar todos los costes e ingresos de los productos que la empresa ha seleccionado como potenciales para fabricar. Los costes totales se subdividen en variables (C_V) y fijos (C_F), según varíen o no con el volumen de producción (Q). Con el empleo de esta técnica la empresa tendrá que prever el nivel de demanda de los productos potenciales a desarrollar en el futuro.

Suponiendo que el precio (P_V) y el coste variable unitario (C_{VU}) son constantes, obtenemos ecuaciones lineales para las funciones respectivas. Bajo estas hipótesis, las expresiones de los ingresos totales (I), costes totales (C_T) y beneficios (B), para una cierta configuración productiva quedan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Ingresos} : I &= P_v \cdot Q \\ \text{Coste total} : C_T &= C_F + C_{vu} \cdot Q \\ \text{Beneficio} : B &= P_v \cdot Q - (C_F + C_{vu} \cdot Q) \end{aligned}$$

El beneficio que produciría la venta de una cierta producción de un producto candidato para la selección se obtendría sustituyendo dicho valor de venta en la fórmula del beneficio. El objetivo del punto de equilibrio o punto muerto (PM) es encontrar el nivel de producción que hace que la empresa obtenga un beneficio igual a cero. Para niveles superiores de producción al PM la empresa obtendría un beneficio positivo y para niveles de producción inferiores al PM la empresa obtendría pérdidas o beneficio negativo.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO A LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS

La empresa XTY dedicada a la fabricación y venta de maquinaria se está planteando sacar al mercado uno de los modelos de maquinaria industrial. Para el modelo 1 se estima un precio de venta de 175 u.m.; un coste variable unitario de 75 u.m. y unos costes fijos de 100.000 unidades monetarias mientras que el modelo 2 se vendería a 700 unidades monetarias. Este modelo tendría unos costes variables unitarios de 100 u.m. y unos costes fijos de 1.200.000 u.m.

Se pide:

- a) Realizar el análisis del punto muerto.
- b) Decidir el producto a elegir en función del volumen de ventas que se estime.

SOLUCIÓN

Para realizar el análisis del punto muerto igualamos la fórmula de beneficio a cero:

$$(P_v - C_u) \cdot q - C_f$$

$$Bfo_1 = (175-75) q - 100.000 = 0$$

$$100 q - 100.000 = 0$$

$$q = 1.000 \text{ unidades físicas}$$

$$Bfo_2 = (700-100) q - 1.200.000 = 0$$

$$600q - 1.200.000 = 0$$

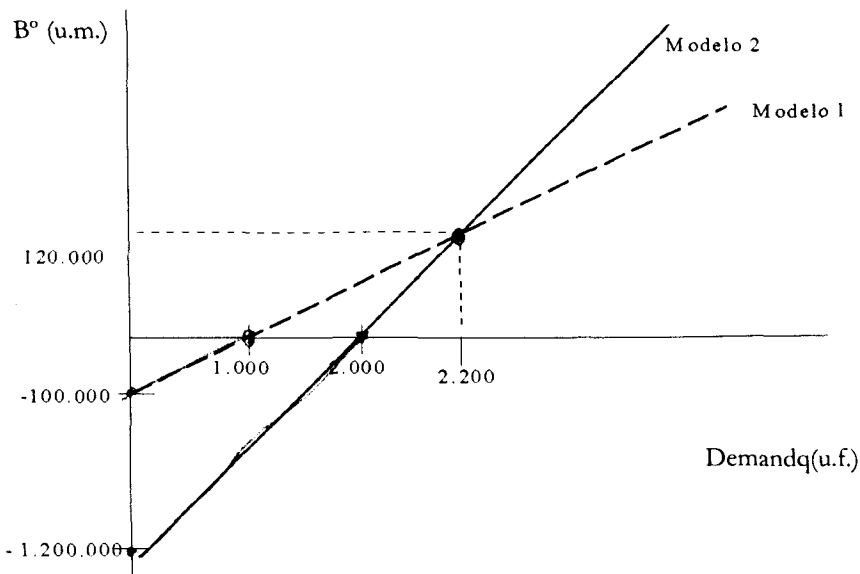
$$q = 2.000 \text{ unidades físicas}$$

1.000 < 1.000 < 2.000 < 2.000 < 2.200 < 2.200

El modelo 1 obtiene un PM igual a 1.000 unidades, lo que significa que volúmenes de venta superiores a esta cantidad darían un beneficio positivo y cantidades inferiores a 1.000 darían un beneficio negativo. La misma interpretación sería para el modelo 2 pero con una cantidad de producción igual a 2.000 unidades físicas de maquinaria.

Con respecto al apartado b) tendríamos que representar gráficamente los dos modelos y calcular los puntos de intersección de las dos rectas. Para ello dibujamos en el eje X las cantidades (Q) y en el eje Y el beneficio (Bfo). Utilizamos dos puntos para representar cada una de las rectas de beneficio.

- Si $Q_1 = 0 \rightarrow Bfo_1 = -100.000 \text{ u.m.}$ si $Bfo_1 = 0 \rightarrow q = 1.000 \text{ u.f.}$
- Si $Q_2 = 0 \rightarrow Bfo_2 = -1.200.000 \text{ u.m.}$ si $Bfo_2 = 0 \rightarrow q = 2.000 \text{ u.f.}$



En aras de calcular el punto de intersección, se igualan las dos rectas, lo que permite la obtención del volumen para el cual es indiferente, desde el punto de vista de los beneficios, elegir el modelo 1 que el modelo 2.

$$\begin{aligned} B_{f0_1} &= B_{f0_2} \\ (175-75)q - 100.000 &= (700-100)q - 1.200.000 = 0 \\ Q &= 2.200 \text{ unidades físicas} \end{aligned}$$

A la hora de seleccionar un modelo, se elegirá el que tenga mayor nivel de beneficio para un mismo nivel de demanda. Por tanto, dicha elección, teniendo en cuenta la gráfica anterior, queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} D \leq 1.000 & \rightarrow \text{Ninguno} \\ 1.000 \leq D \leq 2.200 & \rightarrow \text{Modelo 1} \\ D \geq 2200 & \rightarrow \text{Modelo 2} \end{aligned}$$

EJEMPLO DE SELECCIÓN DE PRODUCTOS CUANDO EXISTEN RESTRICCIONES DE CAPACIDAD

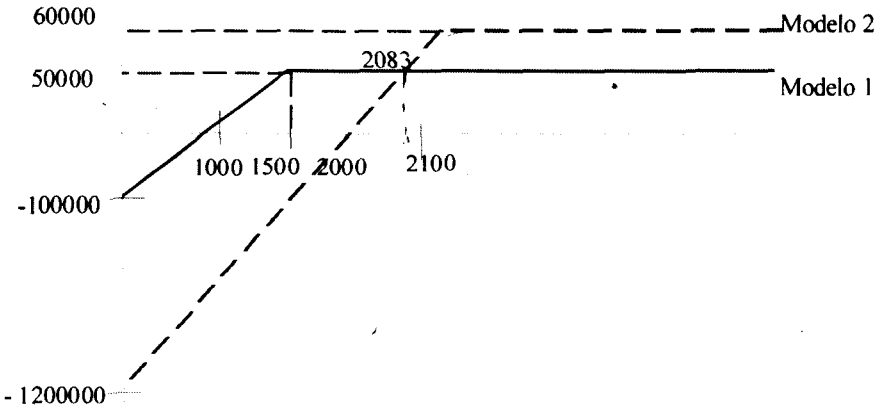
Con los mismos datos del ejemplo anterior suponga que el modelo 1 tiene una producción máxima de 1.500 unidades y el modelo 2 tiene una producción máxima de 2.100 unidades. Decida el modelo a elegir en función de las ventas que se estime.

SOLUCIÓN

Para ello se representan gráficamente las dos rectas de beneficio siendo los puntos muertos los mismos que en el ejemplo anterior. Para calcular el punto de intersección entre las rectas se iguala la recta de beneficio del modelo 2 al máximo beneficio del modelo 1.

$$\begin{aligned} B_{f0_2} &= 50.000 \text{ u.m.} \\ 600q - 1.200.000 &= 50.000 \\ Q &= 2.083 \text{ u.f.} \end{aligned}$$

(u.m.)



Como en este caso existe producción máxima podemos seleccionar el producto teniendo en cuenta dos criterios: a) maximizar el beneficio y b) satisfacer la demanda sin incurrir en pérdidas.

Maximizar el beneficio

Se elige aquel producto que permita alcanzar un mayor beneficio, aunque no satisfaga la demanda.

$D < 1.000$	Ninguno
$1.000 < D < 2.083$	Modelo 1 (hasta 1.500, resto demanda insatisfecha)
$D > 2.083$	Modelo 2 (hasta 2.100, resto demanda insatisfecha)

Satisfacer la demanda

En este caso se elige el producto que satisface la demanda, pero sin incurrir en pérdidas.

$D < 1.000$	Ninguno
$1.000 < D < 1.500$	Modelo 1
$1.500 < D < 2.000$	Ninguno o aumentar la capacidad del modelo 1
$2.000 < D < 2.100$	Modelo 2
$D > 2.100$	Ninguno o aumentar la capacidad del modelo 2

3. PROBLEMAS PROPUESTOS

PROBLEMA 1

El departamento de operaciones de una entidad bancaria debe decidir sobre las ideas que pueden prosperar en la organización para el desarrollo de nuevos servicios financieros. Utilizando el modelo de puntuación y en función de la información recogida en la siguiente tabla, ¿qué debería hacer la citada entidad?

Factor	Subfactor	Puntuación idea 1	Puntuación idea 2	Puntuación idea 3
MERCADO-CLIENTELA	Ampliación de canales	3	8	4
	Ampliación de cartera financiera	2	3	2
	Nuevos mercados	7	9	6
CAPACIDAD DISPONIBLE	Formación de los recursos humanos	4	2	7
	Equipamiento material	1	5	4
CAPACIDAD NECESARIA	Incorporación de personal cualificado	3	8	8
	Inversión en infraestructuras	4	8	5
	Despido personal administrativo	5	2	1

(Solución → Producto 2 con una puntuación de 5,39)

PROBLEMA 2

Los departamentos de la empresa IDEASA están intentando identificar con qué idea, de las dos que parece que tendrán éxito, realizarán el diseño preliminar del producto y sus posteriores prototipos y pruebas. Para ello, se han reunido varios expertos y han puntuado en una escala del 0 al 4, que oscila entre *MUY MAL* - *MUY BIEN*, las dos ideas en función de distintos factores y subfactores. En la siguiente tabla se muestran las puntuaciones medias obtenidas para cada subfactor y, entre paréntesis, las ponderaciones de cada factor o subfactor. A la vista de los resultados, indique cuál debe ser la idea a seleccionar.

FACTORES (%)	SUBFACTORES (%)	Puntuación media de los expertos	
		IDEA 1	IDEA 2
Ventaja sobre la competencia (40%)	Tecnología disponible	1,6	3
	Calidad	3,4	3,4
Ventajas jurídicas (30%)	Facilidad de patentes (80%)	3,5	2,5
	Costes de garantías (20%)	2,1	2
Producción (30%)	Coste de desarrollo	3,9	1
	Precio de venta	1,2	1,2

(Solución → Idea 1 con una puntuación de 2,731)

PROBLEMA 3

Ante la indecisión de la empresa por el servicio que desean ofertar para la próxima temporada televisiva, la dirección de una cadena de televisión opta por pasar un cuestionario a los empleados en función del área a la que están adscritos. Los resultados obtenidos por una muestra de dichos individuos se reflejan en la siguiente tabla. Utilice la técnica del modelo de puntuación para aconsejar en tal decisión.

Departamento	Individuo	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Factores (%)
Departamento comercial	1	5	3	5	Producto (0,6)
		6	4	7	Proceso (0,2)
		7	2	2	Calidad (0,2)
	2	4	3	6	Producto (0,6)
		5	8	3	Proceso (0,2)
		6	9	9	Calidad (0,2)
	3	4	5	4	Producto (0,6)
		3	3	6	Proceso (0,2)
		1	9	7	Calidad (0,2)
	4	8	2	2	Producto (0,6)
		6	3	8	Proceso (0,2)
		5	5	4	Calidad (0,2)
Departamento financiero	1	7	4	6	Producto (0,6)
		3	2	4	Proceso (0,2)
		9	3	1	Calidad (0,2)
	2	2	7	9	Producto (0,6)
		3	5	4	Proceso (0,2)
Departamento producción	1	5	4	7	Producto (0,6)
		3	7	4	Proceso (0,2)
		8	3	3	Calidad (0,2)
	2	3	5	4	Producto (0,6)
		7	6	2	Proceso (0,2)
		8	9	7	Calidad (0,2)
	3	2	2	4	Producto (0,6)
		9	6	7	Proceso (0,2)
		6	4	2	Calidad (0,2)

(Solución → Idea 3 con una puntuación de 4,88)

PROBLEMA 4

Los miembros del departamento de producción de SILIUS, S.A. tienen tres ideas potenciales sobre un nuevo producto a desarrollar (un mármol artificial). Sin embargo, desde la alta dirección se establece que, por cuestiones

presupuestarias, sólo es posible desarrollar una de ellas, por lo que plantea escoger aquélla que tenga mayores probabilidades de comercializarse y convertirse en un producto con éxito en el mercado. A partir de aquí, el jefe de producción decide aplicar una técnica para decidir cuál debe ser la idea a desarrollar. Para ello y tras una reunión con los miembros del departamento que dirige y con empleados de otras áreas funcionales establece cuáles son los factores que pueden determinar el éxito de dichas ideas, estableciendo asimismo el peso relativo de cada uno de ellos en función de su importancia. Seguidamente se procede a la valoración de las ideas por un grupo de expertos (4 internos y 8 externos a la empresa) con respecto a cada uno de los factores considerados (la escala que se utilizó era de 1 a 10). Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

FACTORES	SUBFACTORES	Puntuación media de los expertos		
		IDEA 1	IDEA 2	IDEA 3
Comercial (0,4)	Competencia (0,7)	2	3	5
	Acceso al cliente	4	2	4
Producción (0,3)	Tecnología disponible	8	3	2
	Disponibilidad de materiales	6	6	5
	Disponibilidad de maquinaria	5	7	6
Financiero	Acceso a créditos	9	4	7
	Coste del capital (0,8)	8	5	8

¿Cuál debe ser la idea a desarrollar inicialmente?

(Solución → Idea 3 con una puntuación de 5,519)

PROBLEMA 5

¿Qué opinión le merece la idea presentada? Aplique el modelo de puntuación para seleccionar la idea en función de su valoración respecto a determinados criterios establecidos por el departamento de producción.

CRITERIO	NIVEL	ESCALA	PUNTUACIÓN
Desarrollo del producto			
Tiempo de desarrollo	Menos de 6 meses	+2	X
	De 6 meses a 1 año	+1	
	De 1 a 2 años	-1	
	Más de 2 años	-2	
Experiencia	Considerable	+2	
	Alguna	+1	
	Poca	-1	X
	Ninguna	-2	
Duración de la vida del producto	Más de 8 años	+2	X
	De 5 a 8 años	+1	
	De 3 a 5 años	-1	
	3 años o menos	-2	
Disponibilidad de materiales	Dentro de la empresa	+2	
	Fuera de la empresa	+1	X
	Dentro de la empresa pero limitada	-1	
	Fuera de la empresa pero limitada	-2	
Equipo requiendo	Equipo actual	+2	
	Algún equipo nuevo	+1	X
	La mayoría del equipo nuevo	-1	
	Nuevos medios de producción	-2	
Marketing			
Consumidores potenciales	Consumidores actuales	+2	
	La mayoría de los consumidores actuales	+1	X
	Algunos consumidores actuales	-1	
	Nuevos consumidores todos	-2	
Estabilidad	Estabilidad alta	+2	X
	Suficiente estabilidad	+1	
	Inestable	-1	
	Altamente volátil	-2	
Tendencia	Nuevos mercados	+2	
	Creciente	+1	X
	Estacionaria	-1	
	Decreciente	-2	
Publicidad	Poca	+2	
	Moderada	+1	
	Alta	-1	
	Extensiva	-2	X
Competencia	Ninguna	+2	
	Uno o dos competidores	+1	
	Varios competidores	-1	X
	Muchos competidores	-2	
Demanda	Estable	+2	
	Sujeta al ciclo de los negocios	+1	
	Estacional	-1	X
	Estacional y sujeta al ciclo de los negocios	-2	
Financiación			
Tasa de retomo sobre la inversión	30% o más	+2	X
	Del 25% al 30%	+1	
	Del 20% al 25%	-1	
	Menos del 20%	-2	
Inversión en capital	Bajo	+2	
	Moderado	+1	X
	Alto	-1	
	Extensivo	-2	

(Solución → Puntuación de 0,83 en una escala -2, +2)

PROBLEMA 6

Aplice el modelo de puntuación para obtener la puntuación total del producto en función de sus valoraciones respecto a determinados criterios de importancia relativa.

Características del producto	Malo (1)	Regular (2)	Bueno (3)	Muy Bueno (4)	Excelente (5)	Peso
Precio de venta		X				15%
Calidad del producto				X		10%
Volumen de ventas			X			20%
Operaciones compatibles	X					10%
Ventaja sobre la competencia				X		10%
Riesgo técnico		X				15%
Concordancia con la estrategia corporativa				X		20%
Cada calificación de la tabla se evalúa de la siguiente manera: malo=1, regular=2, bueno=3, muy bueno=4 y excelente=5.						

(Solución → Puntuación de 2,9 en una escala 1 - 5)

PROBLEMA 7

A continuación tiene toda la información necesaria para realizar una selección de producto a través de la técnica del modelo de puntuación. ¿Qué idea sería rechazada?

FACTOR	SUBFACTOR	NIVELES	
Producción (0,6)	Tiempo de desarrollo (0,7)	Muy Bueno: Menos de 3 meses	
		Bueno: De 6 a 3 meses	
		Regular: De 6 meses a 1 año	
		Malo: De 1 a 2 años	
		Muy Malo: Más de 2 años	
Disponibilidad de materiales (0,3)		Muy Bueno: Dentro de la empresa	
		Bueno: Proveedores habituales	
		Regular: Dentro de la empresa pero limitada	
		Malo: Proveedores no habituales y no limitada	
		Muy Malo: Proveedores habituales pero limitada	
Marketing (0,4)	Consumidores potenciales (0,8)	Muy Bueno: Consumidores actuales	
		Bueno: La mayoría de los consumidores actuales	
		Regular: Algunos consumidores actuales	
		Malo: Nuevos consumidores todos	
	Competencia (0,2)		Muy Malo: Nuevo mercado
			Muy Bueno: Ningún competidor
			Bueno: Un sólo competidor
			Regular: Dos o tres competidores
		Malo: Varios competidores	
		Muy Malo: Muchos competidores	

FACTOR PRODUCCIÓN																			
Tiempo de desarrollo										Disponibilidad de materiales									
IDEA 1					IDEA 2					IDEA 1					IDEA 2				
MB	B	R	M	MM	MB	B	R	M	MM	MB	B	R	M	MM	MB	B	R	M	MM
10	8	6	4	2	10	8	6	4	2	10	8	6	4	2	10	8	6	4	2
X							X				X					X			
		X						X		X						X			
	X								X			X			X				
		X					X				X					X			

FACTOR MARKETING																			
Consumidores potenciales										Competencia									
IDEA 1					IDEA 2					IDEA 1					IDEA 2				
MB	B	R	M	MM	MB	B	R	M	MM	MB	B	R	M	MM	MB	B	R	M	MM
10	8	6	4	2	10	8	6	4	2	10	8	6	4	2	10	8	6	4	2
		X			X							X			X				
			X			X							X			X			
		X				X							X		X				
	X							X				X					X		

(Solución → Producto 2 con una puntuación de 6,5)

PROBLEMA 8

Una empresa tiene un producto A cuya capacidad máxima de producción es de 5.000 unidades y al producir al 75% de dicha capacidad soporta unos costes totales de producción de 18.250.000 u.m. Las ventas de dichas unidades supone un ingreso de 37.500.000 u.m. y el coste variable representa el 30% del precio de venta. Con estos datos, se pide:

- a. Calcule el punto de muerto del producto A.
- b. Suponga que la empresa se está planteando fabricar otro modelo B cuya capacidad máxima es de 10.000 u.f. El coste variable unitario es de 11.000 u.m. y los costes fijos ascienden a 10.000.000 u.m. mientras que el precio asciende a 15.000 u.m. Se pide:
 - b1. Realizar la representación gráfica de ambos productos.
 - b2. Decidir el producto a comercializar en función de los criterios de maximizar el beneficio y satisfacer la demanda.
 - b3. ¿Para qué volumen de producción es indiferente comercializar el producto A y el producto B?

B

SOLUCIÓN

a. 1.000 unidades físicas

b. Maximizar el beneficio

$D < 1.000$ Ninguno

$1.000 < D < 9.500$ Producto A (hasta 5.000, resto demanda insatisfecha)

$D > 9.500$ Producto B (hasta 10.000, resto demanda insatisfecha)

Satisfacer la demanda

$D < 1.000$ Ninguno

$1.000 < D < 5.000$ Producto A

$D > 5.000$ Producto B $5.000 < D < 10.000$ $10.000 < D < 15.000$

c. Para 9.500 unidades

PROBLEMA 9

La empresa ZUMERIA, S.A., dedicada a la fabricación y envasado de zumos, está pensando en la posibilidad de lanzar al mercado uno de los tres modelos de envases que ha propuesto el departamento de marketing. El problema es que no sabe qué modelo fabricar, pues los márgenes del producto y los costes fijos son diferentes en función del modelo a comercializar. La información con la que cuenta el departamento de operaciones es la siguiente:

Producto	Producción Máxima (u.f.)	Costes fijos (u.m.)	Costes variables unitarios (u.m.)	Precio de venta (u.m.)
Modelo 1	200	270.000	3.000	4.800
Modelo 2	.	100.000	5.000	5.400
Modelo 3	-	210.000	3.400	4.000

Se pide:

- Represente gráficamente los tres productos, calculando y especificando todos y cada uno de los puntos de corte.
- ¿Para qué volúmenes de producción es indiferente comercializar el modelo 2 y el modelo 3?

c. Indique cuál debe ser el modelo de envase a comercializar en función del volumen de ventas que se estime para satisfacer la demanda, sin incurrir en pérdidas.

SOLUCIÓN

a. $(150, 0)$, $(250, 0)$, $(350, 0)$, $(200, 90.000)$, $(475, 90.000)$, $(500, 90.000)$, $(550, 120.000)$

b. 550 unidades físicas

c. Satisfacer la demanda

$D < 150$ Ninguno

$150 < D < 250$ Modelo 1

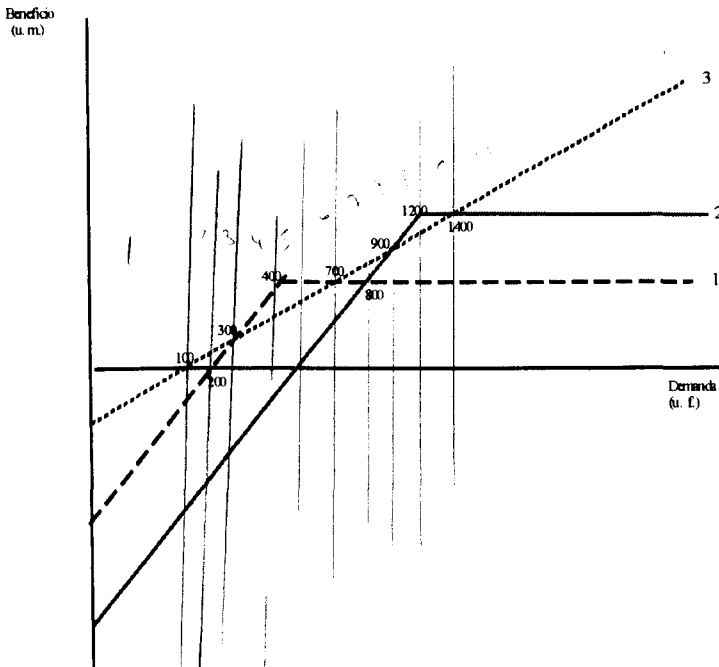
$250 < D < 550$ Modelo 2

$D > 550$ Modelo 3

Handwritten notes:
 $150 < D < 200$ Modelo 1
 $200 < D < 250$ Modelo 1
 Marginal revenue of the product is constant

PROBLEMA 10

Teniendo en cuenta la siguiente gráfica, se pide elegir el producto a comercializar en función del volumen de ventas que se estime utilizando los criterios de satisfacer la demanda sin incurrir en pérdidas y maximizar el beneficio.



SOLUCIÓN

a. Satisfacer la demanda

$D < 100$ Ninguno

$100 < D < 300$ Modelo 3

$300 < D < 400$ Modelo 1

$400 < D < 900$ Modelo 3

$900 < D < 1.200$ Modelo 2

$1.200 < D < 1.400$ Modelo 3

$D > 1.400$ Modelo 3

b. Maximizar el beneficio

$D < 100$ Ninguno

$100 < D < 300$ Modelo 3

$300 < D < 700$ Modelo 1 (hasta 400 resto demanda insatisfecha)

$700 < D < 900$ Modelo 3

$900 < D < 1.400$ Modelo 2 (hasta 1200 resto demanda insatisfecha)

$D > 1.400$ Modelo 3

PROBLEMA 11

La empresa RADIO, S.A., dedicada a la fabricación y comercialización de aparatos de radio, está pensando en la posibilidad de lanzar al mercado uno de los tres modelos que ha desarrollado el departamento de I+D, pero el modelo a comercializar dependerá de los beneficios y la demanda que estime el departamento de marketing. La información con la que cuenta el departamento de operaciones es la siguiente:

Producto	Producción máxima	Costes fijos (u.m.)	Costes variables unitarios (u.m.)	Precio de venta (u.m.)
Modelo 1	1200	270.000	3.000	4.000
Modelo 2	—	100.000	5.000	5.400
Modelo 3	—	210.000	3.400	4.000

Se pide:

- Represente gráficamente los 3 productos, calculando y especificando todos y cada uno de los puntos de corte.
- Indique cuál debe ser el modelo de aparato radio a comercializar en función del volumen de ventas que se estime tanto para maximizar el beneficio como para satisfacer la demanda.

SOLUCIÓN

- $(250,0)$, $(1.000,0)$, $(1.250,0)$, $(3.746,46, 1.648.000)$, $(3.825, 1.648.000)$, $(5000, 2.400.000)$, $(1.280, 1.648.000)$

- Maximizar el beneficio

$D < 250$ Ninguno

$250 < D < 3.746,46$ Modelo 1 (hasta 1.280 resto demanda insatisfecha)

$3.746,46 < D < 5.000$ Modelo 2

$D > 5.000$ Modelo 3

Satisfacer la demanda

$D < 250$ Ninguno

$250 < D < 1.280$ Modelo 1

$1.280 < D < 5.000$ Modelo 2

$D > 5.000$ Modelo 3

PROBLEMA 12

La Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la ULPGC está pensando en la posibilidad de realizar unas jornadas relacionadas con el tópico de la Gestión de Recursos Humanos o la Gestión de la Calidad Total. Organizar y dirigir las jornadas relacionadas con la Gestión de Recursos Humanos supone unos costes fijos de 600 euros y unos costes variables, en función del número de días que duran las sesiones, de 30 euros. Por su parte, la dirección del tópico relacionado con la Gestión de la Calidad Total ~~cuesta~~ 1.200 euros y genera unos costes variables de 18 euros/día.

Supone unos
costes fijos de

Se pide:

- ¿Sobre qué tópico deben realizarse las jornadas si el tiempo ideal para estos eventos es de una semana?
- ¿Para cuántos días es indiferente la organización de las jornadas sobre un tópico u otro?

(Solución → a. Gestión de Recursos Humanos b. $q = 50$ días)

PROBLEMA 13

La empresa SEVILLA, S.A., después de aplicar el modelo de puntuación a siete ideas potenciales, ha detectado que sólo tres resultaron factibles y compatibles con los distintos atributos considerados. Sin embargo, no se consideraron aspectos financieros ni de rentabilidad en la evaluación de los mismos. Por ello la empresa decide aplicar la técnica del análisis del punto muerto para lo que ha pedido información al departamento de marketing y de producción acerca de los precios y costes del producto. La información obtenida es la siguiente:

Producto	Producción Máxima (u.f.)	Costes fijos (u.m.)	Costes variables unitarios (u.m.)	Precio de venta (u.m.)
Idea 1	7.000	1.800.000	1.500	2.000
Idea 2	5.000	1.200.000	1.600	2.000
Idea 3	2.500	740.000	1.700	2.000

Se pide:

- Represente los tres productos, calculando y especificando todos y cada uno de los puntos de corte.
- Indique cuáles serían los tramos de decisión según el criterio del máximo beneficio y según el criterio de satisfacer la demanda.
- ¿Para qué volumen de ventas es indiferente producir la idea 1 y la idea 2?

SOLUCIÓN

a. (2.466,6 0), (3.000, 0), (3.600, 0), (2.500, 10.000), (3.025, 10.000), (5.200, 800.000), (7.000, 1.000.000)

b. Maximizar el beneficio

$D < 2.466,6$ Ninguno

$2.466,6 < D < 3.025$ Modelo 3 (hasta 2.500 resto demanda insatisfecha)

$3.025 < D < 5.200$ Modelo 2 (hasta 5.000 resto demanda insatisfecha)

$D > 5.200$ Modelo 1 (hasta 7.000 resto demanda insatisfecha)

Satisfacer la demanda

$D < 2.466,6$ Ninguno

$2.466,6 < D < 3.000$ Hasta 2.500 modelo 3. A partir de 2.500 ninguno

$3.000 < D < 5.000$ Modelo 2

$D > 5.000$ Modelo 1 hasta 7.000 \rightarrow a partir de 7.000 ninguno

c. 5.200 unidades físicas desde el pta de vista de los $\$$ os

PROBLEMA 14

La empresa MÓVIL, S.A., dedicada a la fabricación y comercialización de móviles de tercera generación, está pensando en la posibilidad de lanzar al mercado uno de los tres modelos que ha desarrollado el departamento de I+D. El problema es que no sabe qué modelo fabricar, pues los márgenes del producto y los costes fijos son diferentes en función del modelo seleccionado. La información con la que cuenta el departamento de operaciones es la siguiente:

Producto	Producción máxima	Costes fijos (u.m.)	Costes variables unitarios (u.m.)	Precio de venta (u.m.)
Modelo 1	250 1.280	20000 400.000	1500 3.000	1400 1.400
Modelo 2	425	80000 600.000	2500 600	2900 1.200
Modelo 3	—	170000 800.000	1700 300	2300 950

Se pide:

- Represente gráficamente los 3 productos, calculando y especificando todos y cada uno de los puntos de corte.
- Indique cuál debe ser el modelo de móvil a comercializar en función del volumen de ventas que se estime para maximizar el beneficio.
- ¿Qué modelo de móvil elegirías si la demanda se estima en 430 lotes y no se quiere dejar insatisfecha?

SOLUCIÓN

a. $(0, 100)$, $(0, 200)$, $(0, 300)$, $(275, 30.000)$, $(450, 90.000)$, $(450, 90.000)$, $(750, 300.000)$

b. Maximizar el beneficio

$D < 100$ Ninguno

$100 < D < 275$ Modelo 1 (hasta 250 resto demanda insatisfecha)

$275 < D < 450$ Modelo 2 (hasta 425 resto demanda insatisfecha)

$D > 450$ Modelo 3

c. Modelo 3

PROBLEMA 15

BOLTAY, S.A, dedicada a la fabricación y venta de productos domésticos, cuenta en la actualidad con tres proyectos para ampliar su gama de productos. Sin embargo, el director general de la empresa no conoce ninguna técnica que le ayude a decidir entre los mismos. Para ello decide consultar contigo como experto en operaciones para que le orientes con alguna técnica de las que estudiaste en la Facultad. Se te pide, como experto en dirección de operaciones, que elabores un informe para el director general de la empresa con las siguientes cuestiones:

- Represente gráficamente las rectas de beneficio y los puntos de intersección de los tres productos para una mejor exposición el día de la reunión con el director general y su asistente.
- Indique al director general qué proyectos debe elegir en función del volumen de ventas que se estime tanto para maximizar el beneficio como para satisfacer la demanda.
- ¿Para qué volumen de ventas es indiferente comercializar el modelo 1 y el 3?

Producto	Producción Máxima (u.f.)	CF	PV	CV
		Costes fijos (u.m.)	Costes variables unitarios (u.m.)	Precio de venta (u.m.)
Modelo 1	700	200.000	1.000	500
Modelo 2	1.500	500.000	1.500	1.000
Modelo 3	--	700.000	2.500	2.000

SOLUCIÓN

- a. $(400, 0)$, $(1.000, 0)$, $(1.300, 150.000)$, $(1.400, 0)$, $(1.700, -250.000)$, $(1.900, 250.000)$, $(0, -200.000)$, $(0, -500.000)$, $(0, -700.000)$, $(700, 150.000)$, $(1.500, 250.000)$, $(1.300, 150.000)$

- b. Maximizar el beneficio

$D < 400$ Ninguno

$400 < D < 1.300$ Modelo 1 (hasta 700 resto demanda insatisfecha)

$1.300 < D < 1.900$ Modelo 2 (hasta 1.500 resto demanda insatisfecha)

$D > 1.900$ Modelo 3

Satisfacer la demanda

$D < 400$ Ninguno

$400 < D < 1.000$ Modelo 1 hasta 700 \rightarrow parte de 700 no se vende.

$1.000 < D < 1.500$ Modelo 2

$D > 1.500$ Modelo 3

- c. 1.700 unidades físicas desde el pto de vista del bte

2

capítulo

La distribución en planta

2. LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

1. El equilibrado de la cadena de montaje
2. Problemas propuestos

INTRODUCCIÓN

La distribución en planta se basa en determinar la ordenación de los factores productivos en las instalaciones de la empresa. La elección de la estrategia de proceso influirá en la determinación de la distribución de los factores necesarios para la producción, es decir, en la búsqueda de la adecuada distribución en planta de los recursos disponibles para conformar un sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente posible. De este modo, la estrategia de proceso, y por ende, la de producto, determinarán la distribución más conveniente de la maquinaria, oficinas, escritorios, centros de servicios, etc. Existen tres tipos básicos de distribución en planta, a saber:

- **Distribución en planta por posición fija**, propia de los procesos por proyecto. El producto, debido a su volumen o peso, permanece inmovilizado en un lugar, y como consecuencia de ello, los diversos medios de fabricación deben situarse a su alrededor. Resulta una distribución apropiada cuando no es posible mover el producto debido a su peso, tamaño, forma, volumen o alguna característica particular que lo impida. Ello provoca que el material base o principal componente del producto final permanezca inmóvil en una posición determinada, de forma que los elementos que sufren los desplazamientos son el personal, la maquinaria, las herramientas y los diversos materiales que son necesarios en la elaboración del producto, así como los propios clientes en su caso. Esta inmovilidad supone que el principal problema, desde el punto de vista de la distribución en planta, sea el movimiento de materiales en áreas de trabajo limitadas.
- **Distribución en planta por proceso**, característica de los procesos en *batch* y a medida. La variedad de productos fabricados en estas configuraciones implica, por regla general, diversas secuencias de operaciones, lo

cual se refleja en una diversidad de los flujos de materiales entre centros de trabajo, que constituye el principal problema que presenta esta distribución. A esta dificultad hay que añadir la generada por las variaciones de la producción a lo largo del tiempo, que puede modificarse tanto en las cantidades fabricadas como en los propios productos elaborados. Esto hace indispensable la adopción de distribuciones flexibles. Tradicionalmente, estas características han traído como consecuencia uno de los grandes inconvenientes de las distribuciones en planta por proceso: la baja eficiencia de las operaciones y del transporte de los materiales, al menos en términos relativos respecto a distribuciones más estandarizadas. Debido a ello, el objetivo principal de esta distribución es ubicar los centros de trabajo, de tal forma que aquellos centros que tengan gran interacción se sitúen lo más cerca posible, para así obtener un flujo mínimo de materiales y/o personas entre los centros.

- **Distribución en planta por producto**, propia de los procesos en masa (en línea y continuo). La ordenación de los puestos de trabajos se realiza en función de las etapas a través de las cuales se produce el bien, es decir, se colocan unos a continuación de otros en el orden en que se suceden las operaciones a realizar, moviéndose el producto de un punto a otro. Si se considera exclusivamente la secuencia de operaciones, esta distribución es relativamente sencilla, en cuanto que se reduce a colocar cada operación tan cerca como sea posible de su predecesora. Las máquinas se sitúan unas junto a otras a lo largo de una línea en la secuencia en que cada una de ellas ha de ser utilizada: el producto sobre el que se trabaja recorre la línea de producción de una estación de trabajo a otra a medida que sufre las operaciones necesarias. El flujo de trabajo en este tipo de distribución puede adoptar diversas formas, dependiendo de cuál se adapte mejor a cada situación concreta. El objetivo de este tipo de distribución consiste en crear un flujo continuo y estable a lo largo de la línea, con la utilización óptima del personal y de las instalaciones, sin tiempos ociosos, y una equidad en la distribución de las cargas de trabajo entre el personal, ya que el principal problema que presenta la distribución por producto está en equilibrar el flujo de producto de un área de trabajo a la siguiente.

OBJETIVOS

- Reconocer la importancia de la distribución física de las instalaciones en el logro de los objetivos corporativos.
- Identificar los distintos tipos de distribuciones en planta.
- Comprender la necesidad de equilibrar las cadenas de montaje.
- Aprender a realizar los equilibrados de línea y a interpretar la eficacia de la misma.

1. EL EQUILIBRADO DE LA CADENA DE MONTAJE

En la distribución en planta por producto, el aspecto principal del problema radica en la posibilidad de subdividir el flujo de trabajo lo suficientemente como para que el personal y los equipos sean utilizados de la forma más ajustada posible a lo largo del proceso. En el caso frecuente de que una de las operaciones del centro requiera más tiempo para ser ejecutada que todas las demás se convertirá en lo que se conoce como un cuello de botella, cuya capacidad, la más baja de todos los centros de trabajo, restringe la del proceso completo. Este problema suele solucionarse mediante el equilibrio de línea.

Operativamente este objetivo se consigue equilibrando el trabajo realizado en una estación de trabajo con el trabajo realizado en la siguiente estación. Se denomina estación o centro de trabajo a un lugar específico donde se lleva a cabo una determinada tarea o conjunto de ellas y que generalmente, si bien no siempre, se encuentra a cargo de un operario. Se subdivide entonces la cadena o línea en estaciones cuya carga se encuentre bien ajustada o equilibrada. La asignación del trabajo a las distintas estaciones se realiza de modo que se consiga la producción deseada con el menor número de centros de trabajo. Los pasos a seguir para el desarrollo de un equilibrado de la línea o de la cadena se exponen a continuación con un ejemplo.

EJEMPLO DE EQUILIBRADO DE LÍNEA

Para la fabricación de uno de sus productos, una empresa necesita un tiempo de montaje de 195 segundos, distribuidos en las tareas que se muestran a continuación, con sus tiempos respectivos y la secuencia que deben seguir. La empresa, que opera 7 horas diarias de lunes a viernes, desea satisfacer el

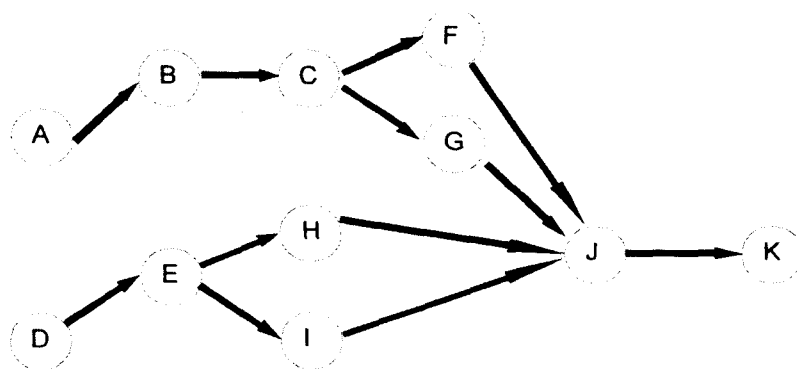
80% de su demanda, que se estima en 625 unidades semanales. Equilibre la línea de montaje.

Actividades	Duración (segundos)	Operación precedente
A	45	---
B	11	A
C	9	B
D	50	---
E	15	D
F	12	C
G	12	C
H	12	E
I	12	E
J	8	F, G, H, I
K	9	J

1. *Definición de tareas e identificación de precedencias.* Se descompone el trabajo en tareas elementales o unidades más pequeñas que pueden ser realizadas de forma independiente.

En la tabla anterior se recogen las tareas necesarias para la elaboración del producto así como su secuencia, lo cual se refleja en el diagrama de precedencias.

Figura 1. Diagrama de precedencias



2. *Cálculo del tiempo del ciclo.* Se comienza calculando el tiempo de ciclo de la línea, que representa el tiempo máximo permitido a cada estación para procesar una unidad de producto y se define como el tiempo que transcurre entre dos salidas consecutivas de productos de la línea de montaje. El tiempo del ciclo toma un valor comprendido entre el tiempo de duración de la tarea más larga y el tiempo total de las actividades productivas, es decir:

$$\text{Max}t_i \leq TC \leq \sum t_i$$

A partir del tiempo del ciclo se puede calcular la producción para una jornada de trabajo; del mismo modo, si se conoce el volumen de producción deseado, es posible calcular el tiempo del ciclo teórico para que se obtenga dicha producción, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Producción} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{TC}$$

En el ejemplo propuesto, el tiempo teórico del ciclo se debe encontrar entre:

$$50 \leq TC \leq 195$$

Como se desea obtener una producción semanal de 500 unidades (80% de 625 unidades), el tiempo del ciclo será:

$$TC = \frac{7\text{horas} \cdot 60\text{minutos} \cdot 60\text{segundos}}{500} = 50,4 \text{ segundos}$$

El tiempo teórico del ciclo es 50,4 segundos que se encuentra dentro del intervalo considerado. Por tanto, es posible continuar el problema con el objetivo de agrupar las tareas en estaciones de trabajo, de tal manera que la duración total en las mismas no exceda de 50,4 segundos.

3. *Cálculo del número mínimo de estaciones de trabajo.* El ideal del equilibrio se da cuando la suma de los tiempos de ejecución de las tareas de cada estación coincide con el tiempo del ciclo. En este caso, el reparto de trabajo por estaciones estará perfectamente equilibrado, no habiendo ninguna estación que implique un cuello de botella ni que tenga tiempo ocioso. Ahora bien, la desigualdad de los tiempos de ejecución de las tareas y las restricciones impuestas por las precedencias hacen que este objetivo sea prácticamente inalcanzable. Sin embargo, el equilibrado perfecto constituye un punto de referencia al que debe tenderse: realizar el equilibrado con el menor número de estaciones de trabajo posible. Este concepto se conoce como mínimo teórico (MT). En el ejemplo propuesto el MT sería:

$$MT = \frac{\sum ti}{TC} = \frac{195}{50,4} = 3,86 \approx 4 \text{ puestos de trabajo}$$

Cuando el mínimo teórico no sea un número entero, tendrá que ajustarse siempre por exceso, dado que carece de sentido hablar de estaciones de trabajo fraccionadas. Es decir, si queremos tener una producción de 500 unidades por semana, se necesitan como mínimo 4 puestos de trabajo. Si se consigue que el número de estaciones (n) en que quede dividida la cadena se minimice y coincida con el mínimo teórico (MT), se estarán consiguiendo tres objetivos: minimizar los tiempos ociosos (t_o), maximizar la eficacia (E), y minimizar el retraso del equilibrado (R).

El tiempo ocioso es el tiempo improductivo total en la fabricación de una unidad para el conjunto de todas las estaciones de trabajo. Cada una de las n estaciones tarda TC segundos por unidad, por lo que $n \cdot TC$ es el tiempo total necesario por unidad de producto, incluyendo tiempos productivos e improductivos. Si a este total necesario se le resta el total requerido se obtiene la totalidad de tiempo ocioso o improductivo:

$$t_o = n \cdot TC - \sum ti$$

La eficacia vendrá expresada como la relación entre el tiempo requerido y el tiempo realmente empleado:

$$E(\%) = \frac{\sum ti}{n \cdot TC} \cdot 100$$

Siempre que la eficacia alcanzada no llegue al 100 por 100 existirá un retraso del equilibrado:

$$R(\%) = 100 - E(\%)$$

4. *Asignación de las tareas a las estaciones de trabajo.* El número de soluciones posibles puede llegar a ser muy elevado, aumentando con el número de estaciones y el número de tareas, siendo heurísticos los procedimientos que se siguen y proporcionando, por tanto, una solución satisfactoria. Los pasos a seguir son:
 - a. Se comienza con la primera estación a formar, a la que se asigna el número 1.
 - b. Se elabora una lista con todas las posibles tareas que podrían ser incluidas en la estación en cuestión, las cuales deben cumplir tres condiciones: (1) no haber sido asignadas todavía a ninguna estación; (2) todas sus tareas precedentes han debido ser asignadas a ésta o a alguna estación previa; y (3) sus tiempos de ejecución no pueden exceder el tiempo ocioso de la estación que, en este momento, será la diferencia entre el tiempo de ciclo y la suma de los tiempos de ejecución de las tareas que ya hayan sido asignadas a la estación que se está formando. En el caso de que no haya ninguna tarea que cumpla las tres condiciones se irá directamente al paso e.
 - c. Se selecciona, de entre las candidatas de la lista (actividades factibles), una tarea. Para esta selección se sigue normalmente una de las dos reglas siguientes:
 - Regla 1.** Se asignan primero las tareas de mayor duración. De esta forma, se tiende a asignar lo antes posible las más difíciles de encarar dentro de las estaciones. Las tareas con tiempos más cortos se reservan para un ajuste más preciso de la solución.
 - Regla 2.** Se asignan primero las tareas que den lugar a un mayor número de tareas subsiguientes. Con ello se facilita el mantener abiertas más opciones para formar las estaciones posteriores.
 - d. Se calcula el tiempo acumulado de todas las tareas asignadas hasta ese momento a la estación en cuestión y se resta al tiempo de ciclo para obtener su tiempo ocioso. Se vuelve al paso b.

- e. Si queda alguna tarea por asignar, pero no puede serlo a la estación que se está formando en ese momento, debe crearse una nueva estación. A ésta se le asignará un número igual al de la estación previa incrementado en una unidad y se volverá al paso b. En el caso de que no quede ninguna otra tarea por asignar se habrá obtenido la solución.

A continuación se van a utilizar las dos reglas indicadas en el paso c en orden diferente para ver las variaciones de resultados:

- **Alternativa 1: aplicar la regla 2 complementada, si es necesario, por la 1.** Se comienza por ver cuáles son las actividades factibles. En principio las actividades factibles son A y D. Para poder escoger entre una de estas dos, se aplica la regla 2, es decir, se determina cuál tiene más actividades posteriores (A y D), que es A, con una duración de 45 segundos, con lo que en ese puesto de trabajo sobran 5,4 segundos para realizar otra tarea o es tiempo ocioso si no hay otra tarea factible. Fíjese que siempre se intentan agrupar las tareas posibles que cubran el tiempo del ciclo. Como no hay tarea factible de menos de 5,4 segundos se cierra el puesto de trabajo 1. Para formar el puesto de trabajo 2 se repite el proceso: las tareas factibles son B y D. Como ambas tienen el mismo número de tareas subsiguientes, se aplica la regla 1, es decir, se asigna primero la de mayor duración (D), cuyo tiempo de realización es de 50 segundos, con lo que sobrarían 0,4 segundos y se cerraría el puesto de trabajo 2. Para el tercer puesto se repite el proceso: las tareas factibles son B y E porque A y D ya están asignadas; la de mayor número de tareas subsiguientes es B, cuya duración es de 11 segundos, con lo que quedan 39,4 segundos libres. Las tareas que se pueden agrupar en este puesto son C (porque B ya está realizada) y E. Las dos tienen el mismo número de tareas subsiguientes por lo que, aplicando la regla 1, se selecciona E, de duración 15 segundos, con lo que todavía sobran 24,4 segundos. Hay posibilidades de incorporar más tareas a este puesto de trabajo (C, H, I). Se selecciona C cuya duración es de 9 segundos y todavía sobran 15,4 segundos. Ahora se podría incorporar tanto F, G, H o I, y como todas tienen las mismas características, se selecciona una cualquiera, por ejemplo F, y se cerraría el puesto de trabajo con un tiempo ocioso de 3,4 segundos. Así sucesivamente hasta que estén agrupadas todas las tareas.

Puesto de trabajo	Operación factible	Mayor nº subig.	Mayor duración	Operación seleccionada	Tiempo	Tiempo ocioso
1	A,D	A	---	A	45	5,4
2	B,D	B,D	D	D	50	0,4
3	B,E	B	---	B	11	39,4
	C,E	C,E	E	E	15	24,4
	C,H,I	C	---	C	9	15,4
	F,G,H,I	F,G,H,I	F,G,H,I	F	12	3,4
4	G,H,I	G,H,I	G,H,I	G	12	38,4
	H,I	H,I	H,I	H	12	26,4
	I	---	---	I	12	14,4
	J	---	---	J	8	6,4
5	K	---	---	K	9	41,4

El tiempo ocioso para este equilibrado es de 57 segundos (5,4 + 0,4 + 3,4 + 6,4+ 41,4) y su eficacia de:

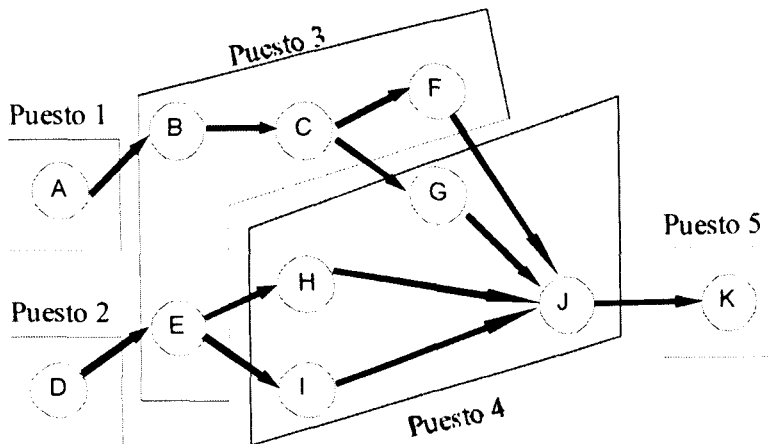
$$E(\%) = \frac{\sum ti}{n \cdot TC} \cdot 100 = \frac{195}{5 \cdot 50,4} \cdot 100 = 77\%$$

Su retraso es:

$$R(\%) = 100 - E(\%) = 100 - 77 = 23\%$$

Gráficamente la distribución de las tareas en los distintos puestos se muestra en la figura 2.

Figura 2. Distribución de tareas según la alternativa 1



Alternativa 2: aplicar primero la regla 1 complementada por la 2. El resultado sería el que se muestra en la tabla.

Puesto de trabajo	Operación factible	Mayor duración	Mayor n°subsíg.	Operación seleccionada	Tiempo	Tiempo ocioso
1	A,D	D	---	D	50	0,4
2	A,E	A	---	A	45	5,4
3	B,E	E	---	E	15	35,4
	B,H,I	H,I	H,I	H	12	23,4
	B,I	---	---	I	12	11,4
	B	---	---	B	11	0,4
4	C	---	---	C	9	41,4
	F,G	F,G	F,G	F	12	29,4
	G	---	---	G	12	17,4
	J	---	---	J	8	9,4
	K	---	---	K	9	0,4

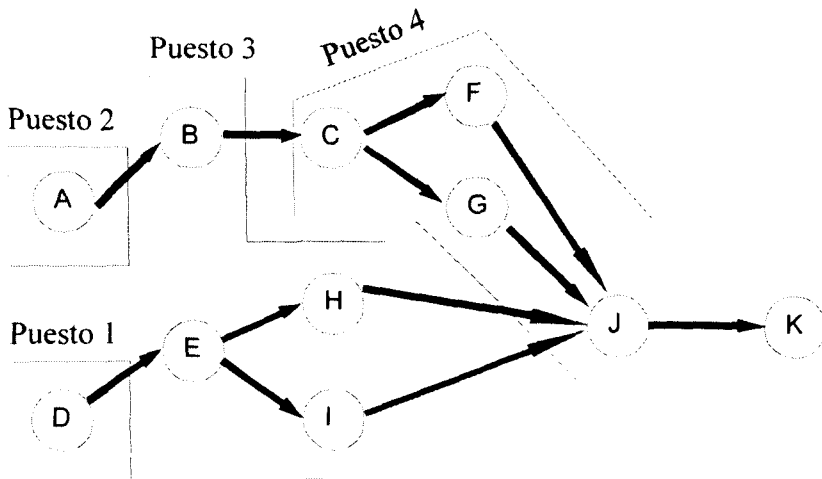
El tiempo ocioso para este equilibrado es de 6,6 segundos (0,4 + 5,4 + 0,4 + 0,4) y su eficacia de:

$$E(\%) = \frac{\sum ti}{n \cdot TC} \cdot 100 = \frac{195}{4 \cdot 50,4} \cdot 100 = 96,7\%$$

Su retraso es:

$$R(\%) = 100 - E(\%) = 100 - 96,7 = 3,3\%$$

Figura 3. Distribución de tareas según la alternativa 2



2. PROBLEMAS PROPUESTOS

PROBLEMA 1

Una empresa se encuentra ubicada en un polígono industrial de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria y produce un tipo de electrodomésticos que requiere la siguiente secuencia de actividades:

Actividades	Duración (minutos)	Precedencia
A	25	----
B	15	A
C	10	B
D	10	C
E	40	C
F	25	D, E
G	20	E
H	10	F, G

Dadas las características del proceso productivo, el director de operaciones de la empresa llega a la conclusión de que la distribución en planta más adecuada es la propia de una línea de montaje, lo cual le lleva a plantearse las siguientes cuestiones:

- Si se pretende que el tiempo máximo de cada electrodoméstico esté en cada puesto de la cadena de montaje no supere los 55 minutos, ¿cuál es el mínimo de estaciones que se precisan para poder equilibrar la línea?
- Considerando un tiempo del ciclo de 55 minutos, si se logra equilibrar la línea con tres puestos de trabajo, ¿cuál es la eficacia de la línea? El valor alcanzado, ¿se puede calificar de aceptable? Justifique su respuesta.
- Si la jornada laboral es de 8 horas diarias, ¿cuál es la producción a obtener en un período de 5 días laborales si se pretende que cada 30 minutos salga una pieza de la cadena de montaje?

(Solución → a. Mínimo teórico = 3 puestos b. Eficacia = 93,93% c. 80 piezas)

c) TC = 30 minutos,
para 60 unidades

PROBLEMA 2

Una empresa dedicada a la fabricación de tableros de ajedrez emplea un proceso productivo que consta de siete etapas:

Actividades	Duración (minutos)	Precedencia
A	3	---
B	4	A
C	10	---
D	8	A
E	9	D
F	12	B
G	6	E, F, C

Sabiendo que se pretende obtener una producción de 6 tableros al día en una jornada laboral de 8 horas, equilibre la línea con tres puestos de trabajo.

(Solución $\rightarrow TC = 80$ minutos. $12 \leq TC \leq 52$ No se cumple)

PROBLEMA 3

Una empresa de fabricación de muebles trabaja siete horas diarias. El director de operaciones de la empresa ha realizado un equilibrado para su cadena de montaje con un tiempo del ciclo de 45 minutos y con tres puestos de trabajo. Las tareas que se realizan en el departamento de fabricación, así como sus relaciones de precedencia se muestran en la siguiente tabla:

Actividades	Duración (minutos)	Precedencia
1	25	-
2	15	1
3	15	1
4	12	2, 3
5	14	4
6	8	4
7	10	5, 6
8	12	7

Se pide:

- Compruebe y comente si el número mínimo de estaciones de trabajo coincide con el número de estaciones obtenidas.
- ¿Cuál es la eficacia de la línea, el tiempo ocioso y el retraso del equilibrado?
¿Considera que es la mejor solución que se puede obtener?
- ¿Cuál es la producción a obtener en un período de cinco días si se pretende que cada 30 minutos salga un mueble de la cadena de producción?
- ¿Cuál es el mínimo valor que puede alcanzar el tiempo del ciclo?

SOLUCIÓN

a. $MT = 3$ puestos. *81'22"*

b. Eficacia = 78,5%. Tiempo ocioso = ²⁴29 minutos. Retraso = ^{17'78"}21,5%.

c. 70 muebles.

d. 25 minutos.

PROBLEMA 4

La empresa RADIO, S.A. se dedica a la fabricación de aparatos de radio estandarizados para cuya realización se necesitan las actividades que se muestran a continuación:

Actividades	Duración (minutos)	Precedencia
A	10	-
B	12	A
C	21	F
D	13	A
E	8	D, B, C
F	15	-
G	11	E
H	10	E
I	14	H, G

Se pide (conteste a las preguntas de forma independiente):

- Si las actividades están agrupadas en 3 estaciones de trabajo y la eficacia es del 100%, ¿cuál es el tiempo del ciclo?

- b. Si el tiempo del ciclo es de 21 minutos, ¿cuál es el número mínimo de estaciones de trabajo?
- c. ¿Se podría obtener una producción de 25 aparatos de radio en 7 horas con el tiempo de ciclo del apartado anterior?
- d. Se quiere obtener una producción de 84 radios en 5 días laborales, siendo la jornada de 7 horas diarias. Agrupe las diferentes tareas con el objetivo de equilibrar la línea, asignando primero las tareas que den lugar a un mayor número de tareas siguientes, completándolo si es necesario con la asignación de la tarea de mayor duración. Comente y justifique numéricamente si se alcanzan los objetivos del equilibrado.

SOLUCIÓN

a. $TC = 38$ minutos.

b. $MT = 6$ puestos.

c. Producción máxima = 20 aparatos.

d. Puesto 1 = A y F; puesto 2 = C; puesto 3 = D y B; puesto 4 = E y G; puesto 5 = H e I. Eficacia = 91,2%. Tiempo ocioso = 11 minutos. Retraso = 8,8%.

PROBLEMA 5

La empresa TELEVISIÓN, S.A. se dedica a la fabricación de televisores estandarizados para cuya realización se necesitan las actividades que se muestran a continuación. En la tabla también se muestran las relaciones de precedencia y las duraciones de las tareas.

Actividades	Duración (minutos)	Precedencia
A	5	-
B	10	A
C	7	-
D	12	A, C
E	8	B, D
F	6	E
G	4	E
H	8	F, G
I	10	H

Conteste a las siguientes preguntas:

- Si las actividades están agrupadas en 3 estaciones de trabajo y la eficacia es del 100%, ¿cuál es el tiempo del ciclo?
- Si el tiempo del ciclo es de 17,5 minutos, ¿cuál es el número mínimo de estaciones de trabajo?
- ¿Se podría obtener una producción de 30 televisores en 7 horas con el tiempo de ciclo del apartado anterior?
- Se quiere obtener una producción de 105 televisores en 5 días laborales, siendo la jornada de 7 horas diarias. Agrupe las diferentes tareas con el objetivo de equilibrar la línea, asignando primero las tareas que den lugar a un mayor número de tareas siguientes, completándolo si es necesario con la asignación de la tarea de mayor duración. Comente y justifique numéricamente si se alcanzan los objetivos del equilibrado.

SOLUCIÓN

a. $TC = 23,3$ minutos.

b. $MT = 5^4$ puestos.

c. No. Producción máxima = 24 aparatos.

d. Puesto 1 = A y C; puesto 2 = D; puesto 3 = B y E; puesto 4 = F, G y H; puesto 5 = I. Eficacia = 70%. Tiempo ocioso = 30 minutos. Retraso = 30%.

PROBLEMA 6

Una hamburguesería ha decidido ofrecer un nuevo producto cuya elaboración se compone de las tareas indivisibles que se muestran a continuación y se requiere una producción de 600 unidades al día, trabajando 8 horas diarias. Equilibre la línea, utilizando el criterio de mayor duración y, si es necesario, compléméntelo con el criterio de mayor número de tareas siguientes. Comente qué ocurre con los objetivos del equilibrado.

Actividades	Tiempo (segundos)	Operación precedente
A	39	-
B	20	A
C	18	A
D	20	A
E	17	A
F	30	B, C, D, E

SOLUCIÓN

*Puesto 1= A; puesto 2= B y D; puesto 3= C y E; puesto 4= F. Eficacia= 75%.
Tiempo ocioso= 48 segundos. Retraso= 25%.*

PROBLEMA 7

El departamento de producción de la empresa italiana STROMBOLI, S.A., dedicada a la fabricación de maquinaria industrial, comienza el próximo semestre con la fabricación y comercialización de maquinaria semipesada cuya demanda, según los estudios de mercado realizados por el departamento de marketing, se ha estimado en un volumen tal que ha hecho que el director de operaciones planifique su producción mediante una configuración continua. Una de las acciones derivadas de tal decisión consiste en equilibrar la línea. Con los datos que a continuación se facilitan y teniendo en cuenta que el tiempo del ciclo es igual a 50 minutos, intente ayudar al director de producción en su labor, contestando las cuestiones planteadas.

Actividades	Duración (minutos)	Operaciones precedentes
A	30	-
B	20	A, C
C	15	-
D	15	C
E	45	B, D
F	30	E
G	25	D
H	15	F, G
I	15	H

Se pide:

- a. Equilibre la línea siguiendo el criterio de asignar primero las tareas que den lugar a un mayor número de tareas siguientes, completándolo si es necesario con la asignación de la tarea de mayor duración.
- b. ¿Coincide el número teórico de puestos de trabajo con los que ha necesitado para equilibrar la línea?
- c. ¿Qué opinión le merecen el retraso y la eficacia obtenidos?

SOLUCIÓN

- a. Puesto 1= A y C; puesto 2= D y B; puesto 3= E; puesto 4= F; puesto 5= G y H; puesto 6, I. Eficacia= 70%. Tiempo ocioso= 90 minutos. Retraso= 30%.
- b. No. MT= 5 puestos.
- c. Eficacia= 70%. Retraso= 30%.

PROBLEMA 8

La empresa CRISP, S.A. se dedica a la fabricación de maquinaria industrial utilizando una configuración en línea. Para la obtención de una máquina se requiere la realización de 9 tareas, cuyas duraciones y relaciones de precedencia se muestran en la tabla siguiente. Además se sabe que en la empresa se realizan al día dos turnos de 7 horas cada uno. Se pide:

- a. Si el tiempo del ciclo es de 19 minutos, ¿podría equilibrarse la línea con 6 puestos de trabajo?
- b. ¿Cuál sería el número mínimo de máquinas que se podrían obtener en un día?
- c. En el caso de que la empresa obtuviese diariamente el mayor número posible de máquinas y que se consiguiese equilibrar la línea con 7 puestos de trabajo, ¿se conseguirían los objetivos del equilibrado de línea? Justifique su respuesta, comentando cuáles son esos objetivos y calculando los valores correspondientes a los mismos.

Actividades	Duración (minutos)	Operación precedente
A	20	---
B	8	A, C, D
C	12	---
D	15	---
E	12	F
F	9	B
G	10	E, I
H	13	B
I	8	H

SOLUCIÓN

a. No.

b. 7 máquinas.

c. No. Eficacia= 76,42%. Tiempo ocioso= 33 minutos. Retraso= 23,58%.

PROBLEMA 9

Las actividades necesarias para la fabricación de botellas útiles para el envasado de agua potable son las que a continuación se muestran, conjuntamente con los tiempos estándares que cada una de las tareas requiere y con la secuencia en la que deben realizarse.

Actividades	Actividades precedentes	Tiempo de realización (segundos)
A	-----	10
B	-----	9
C	A, B	7
D	C	8
E	D	3
F	D	6
G	E, F	4

Se pide:

- ¿Cuál es la producción mínima que se puede obtener en una jornada laboral de 7 horas diarias?
- Si se quiere obtener una producción de 1.260 botellas diarias, ¿cómo se agruparían las diferentes tareas con el objetivo de equilibrar la línea, asignando primero las tareas que den lugar a un mayor número de tareas siguientes, complementándolo si es necesario con la asignación de las tareas de mayor duración?
- ¿Qué opinión le merece este equilibrado en función de los objetivos básicos que debe satisfacer?
- ¿Qué porcentaje de tiempo ocioso tiene el tercer puesto de trabajo?

SOLUCIÓN

a. 536 botellas.

b. Puesto 1= A y B; puesto 2= C, D y E; puesto 3= F y G.

c. $MT = 3$ puestos.

d. 50%.

PROBLEMA 10

El salón de belleza GUAPETONA, S.L. ofrece a su clientela un servicio estandarizado en el tratamiento facial y corporal. El salón sólo atiende a los clientes que previamente han solicitado una cita, con lo que las esperas son inexistentes. La realización del servicio se compone de las siguientes actividades secuenciales:

Actividades	Actividades precedentes	Tiempo de realización (minutos)
1	-----	10
2	-----	9
3	1, 2	7
4	3	8
5	4	3
6	2	5
7	5, 6	4

Un afamado asesor de PYMEs ha realizado para el centro de belleza un estudio para equilibrar la línea de servicio y le presenta una solución en la que se logran 6 puestos de trabajo. En la solución planteada cada 10 minutos sale un cliente del salón de belleza.

Se pide:

- ¿Cuántos puestos de trabajo debe tener el salón de belleza si desea aprovechar al máximo sus jornadas laborales?
- ¿Qué opinión le merece este equilibrado en función de los objetivos básicos que debe satisfacer? Justifique su respuesta.
- En la solución propuesta por el asesor, ¿cuántos minutos hay de tiempo ocioso?
- Prescindiendo de la solución aportada por el asesor, como máximo ¿cuántos clientes se podrían atender en una jornada de 7 horas?

SOLUCIÓN

- a. 5 puestos.
- b. $MT = 5$ puestos.
- c. 14 minutos.
- d. 42 clientes.

PROBLEMA 11

ELECTRY, S.A. se dedica a la fabricación de pequeños electrodomésticos para lo cual ha configurado sus instalaciones en base a una línea de montaje. Para la fabricación de uno de sus productos estrella (cafeteras), la empresa realiza las tareas que se muestran en la tabla, estimándose asimismo las duraciones que se indican. ELECTRY, S.A. desarrolla sus actividades de lunes a viernes de 8 a 15 horas en un único turno, si bien por necesidades de la demanda en determinadas épocas del año es posible realizar un segundo turno de 15 a 22 horas.

Tarea	A	B	C	D	E	F	G	H
Tiempo (segundos)	45	50	28	60	25	20	30	10

Se pide:

- a. Si se desea obtener en un día (con un solo turno de trabajo) el mayor número de cafeteras, ¿será posible equilibrar la línea con cuatro puestos de trabajo?
- b. ¿Cuál es la producción máxima que se puede obtener en un día con un solo turno de trabajo?
- c. Calcule la eficacia máxima que se puede conseguir para obtener la producción del apartado anterior.
- d. Si se desea alcanzar un volumen de producción de 300 cafeteras al día (en un solo turno de trabajo), ¿cuál será el tiempo máximo asignado a cada puesto de trabajo?

SOLUCIÓN

- a. No. $MT = 5$ puestos.

- b. 420 cafeteras.
- c. 89,3%.
- d. 84 segundos.

PROBLEMA 12

Para la fabricación de uno de sus productos, una empresa realiza las tareas que se muestran a continuación y en los tiempos indicados. En la siguiente tabla se muestran las actividades, sus duraciones respectivas y las relaciones de precedencia. La empresa decide consultar con usted como experto en dirección de operaciones, planteándole las siguientes cuestiones (a resolver de forma independiente):

- a. ¿Cuál es la producción máxima que se puede obtener en 8 horas diarias?
- b. Calcule la eficacia máxima que se puede conseguir para obtener la producción del apartado anterior.
- c. Si se ha logrado maximizar la producción a la vez que la eficacia, ¿cuántos segundos hay de tiempo ocioso?
- d. Como mínimo ¿qué valor tomaría el retraso del equilibrado si se desea alcanzar el volumen de producción máximo?
- e. Si cada 140 segundos sale un producto de la cadena de montaje, ¿sería posible equilibrar la línea con cinco puestos de trabajo?
- f. Suponga que el tiempo de ciclo es de 150 segundos y que se logra equilibrar la línea en cinco puestos de trabajo. ¿Se consiguen los objetivos del equilibrado? Justifique su respuesta. Comente estos objetivos y calcule su valor.

Actividades	Duración (segundos)	Operación precedente
A	90	B
B	100	C
C	56	---
D	130	B
E	50	A, D
F	40	B
G	50	H
H	20	E, F

SOLUCIÓN

a. 221 unidades.

b. 82,46%.

c. 114 segundos.

d. 17,54%.

e. Si $MT = 4$ puestos.

f. No. $MT = 4$ puestos. Eficacia = 71,46%. Tiempo ocioso = 214 segundos. Retraso = 28,54%.

PROBLEMA 13

Para la fabricación de uno de sus productos, una empresa necesita un tiempo de montaje de 258 segundos, distribuidos en las tareas que se muestran a continuación, con sus tiempos respectivos y la secuencia que deben seguir. La empresa, que opera 7 horas diarias de lunes a viernes, decide consultar con usted como experto en dirección de operaciones, planteándole las siguientes cuestiones (a resolver de forma independiente):

- Si se maximiza el volumen de producción a la vez que se maximiza la eficacia, ¿cuántos ^{segundos} minutos hay de tiempo ocioso?
- ¿Cuál es la producción máxima que se puede obtener en un día?
- ¿Sería posible equilibrar la línea en tres puestos de trabajo cuando se maximiza la producción a la vez que se minimiza el tiempo ocioso?
- Si el retraso es mínimo y se ha maximizado el volumen de producción, ¿cada cuánto tiempo sale un producto de la cadena de montaje?
- Suponga que el tiempo del ciclo es de 48 segundos, ¿sería posible equilibrar la línea con seis puestos de trabajo?
- Sabiendo que la empresa se ha fijado como objetivo satisfacer el 80% de su demanda, que se estima en 1.500 unidades semanales, equilibre la línea asignando primero las tareas de mayor duración. Complemente el criterio, si es necesario, con la asignación de la actividad que de lugar a un mayor número de tareas siguientes.

Actividades	A	B	C	D	E	F	G	H
Duración (segundos)	30	50	28	70	25	20	25	10
Operación precedente	B	C	---	B	A, D	B	H	E, F

SOLUCIÓN

a. 22 segundos.

b. 1.800 unidades. *semareles = 360 uds / día*

c. No. $MT=4$.

d. 70 segundos.

e. No. No se cumple, ya que $TC=48 < 70$ (máx t_i)

f. Puesto 1 = C, B y F; puesto 2 = A y D; puesto 3 = E, H y G.

3

capítulo

La capacidad del sistema productivo

3. LA CAPACIDAD DEL SISTEMA PRODUCTIVO

1. Los árboles de decisión
2. La teoría de colas
3. Problemas propuestos

INTRODUCCIÓN

La decisión de la capacidad en el sistema de producción de la organización determina no solo la adquisición y la utilización de los recursos de la empresa (*e.g.*, personal, tecnología, inventario) sino que también establece la tasa de respuesta de la misma en el mercado.

Existen diferentes definiciones de capacidad, si bien todas ellas coinciden en considerarla como una cantidad a producir en un lugar determinado en un periodo de tiempo establecido. Así pues, no sólo es necesario saber **cuánto** se produce sino que además se requiere conocer el **dónde** y el **cuándo**. Partiendo de la definición general anterior y según los diferentes matices aportados a la misma existen hasta cuatro tipos de capacidad: capacidad diseñada (*i.e.*, volumen de *output* máximo obtenido en condiciones ideales), capacidad máxima (*i.e.*, volumen de *output* que se podría obtener operando durante 24 horas al día, siete días a la semana), capacidad real (*i.e.*, volumen de *output* obtenido en el pasado).

Asimismo, se puede medir la capacidad de diversas formas y se suele utilizar tanto unidades de *outputs* o servicio/producto por unidad de tiempo (*e.g.*, número de sillas en la fábrica de Gran Canaria en un año); unidades de *inputs* o recursos por unidad de tiempo (*e.g.*, número de tornillos empleados en la fábrica de Gran Canaria en un año); o unidades monetarias por unidad de tiempo (*e.g.*, miles de euros ingresados en la filial de Gran Canaria en un año). Cada una de las unidades de medida de la capacidad presentadas tiene sus ventajas y sus inconvenientes siendo necesario reconocer en cada momento con cual estamos trabajando.

La frecuencia con que las empresas se enfrentan a la decisión de la capacidad es muy variada. Lo que sí está claro es que se toma una decisión inicial en la fase de creación de una empresa y, posteriormente, esta decisión se va



adecuando a las necesidades de la empresa dependiendo del sector al que pertenece, de la velocidad del cambio tecnológico en equipos y/o productos, de las características de la competencia, etc. El ajuste entre la capacidad disponible y la necesaria se denomina **planificación y control de la capacidad** y debe llevarse a cabo tanto a largo, como a medio y corto plazo.

En este capítulo se estudiará la capacidad a largo plazo, vinculada a la estructura fija de la empresa. Es por ello, que las decisiones de la capacidad a largo plazo suelen implicar inversiones elevadas que suponen un alto riesgo para el decisor, puesto que una vez ejecutadas resulta difícil alterar su ejecución sin incurrir en costes. De ahí la importancia de dicho proceso que debe afrontarse desde el nivel más alto de la dirección.

Para evaluar las distintas alternativas los directivos tienen a su disposición una amplia gama de herramientas analíticas que les permiten considerar criterios tanto cualitativos (*e.g.*, técnicas multicriterio) como cuantitativos (*e.g.*, valor monetario esperado, tasa interna de rendimiento, árboles de decisión). Especialmente relevantes suelen ser los criterios económico-financieros que estudian la decisión atendiendo a dicho punto de vista. Sin embargo, difícilmente los datos necesarios para tales métodos podrán conocerse con certeza por lo que se debe introducir la aleatoriedad en la evaluación y para ello, métodos como los árboles de decisión son de utilidad. La elección de una u otra técnica depende, en cualquier caso, del tipo de problema de capacidad a resolver y de las características que lo definan.

OBJETIVOS

- Definir y delimitar el concepto de capacidad de una unidad productiva.
- Comprender la importancia y las consecuencias de la decisión de capacidad a largo plazo.
- Evaluar las alternativas de capacidad mediante la utilización de los árboles de decisión.
- Utilizar la teoría de colas como herramienta que facilita la decisión de capacidad en las organizaciones de servicio.

1. LOS ÁRBOLES DE DECISIÓN

Las decisiones de capacidad, como cualquier otra decisión empresarial, no están aisladas pues se encuentran condicionadas por las decisiones adoptadas con anterioridad, por los sucesos ocurridos y, además, por otras posibles decisiones que deberán tomarse en el futuro. Estas decisiones, se denominan secuenciales. Si se debe elegir entre varias alternativas posibles, las distintas secuencias e interdependencias entre las decisiones pueden hacer más compleja la comprensión y resolución del problema planteado. Los árboles de decisión son un sistema de representación que puede hacer disminuir enormemente las dificultades mencionadas.

La analogía de la herramienta con los árboles nos permite representar mediante nudos y ramas las distintas alternativas planteadas así como los resultados asociados a cada una de ellas. Dichos resultados variarán dependiendo de los estados de la naturaleza que se vayan presentando (*i.e.*, acontecimientos externos sobre los que el decisor no tienen ningún control).

En la terminología del análisis de decisión, las intersecciones de las ramas se denominan **nudos**. Los nudos o vértices representan bien situaciones en las que el decisor debe elegir una alternativa entre las planteadas (nudos decisionales), bien situaciones en las que se enfrenta a distintos estados de la naturaleza (nudos aleatorios). El valor que le corresponde a un nudo aleatorio se calcula con el criterio del valor medio esperado. Convencionalmente, los nudos decisionales se ilustran con un cuadrado y los aleatorios con un círculo.

Las ramas que parten de los nudos decisionales reflejan situaciones alternativas y las que lo hacen de los nudos aleatorios representan los distintos estados de la naturaleza. En este último caso (*i.e.*, estados de la naturaleza) cada rama deberá indicar, además, la probabilidad de ocurrencia de cada estado aleatorio.

Partiendo de la información anterior, alternativas y probabilidades de ocurrencia de los distintos estados de naturaleza, se puede calcular el valor medio esperado de cada una de las alternativas disponibles y así seleccionar aquella que sea más ventajosa para el decisor. Dicho valor medio se calcula como media de las ganancias a obtener en cada alternativa dependiendo de los distintos estados de naturaleza y de la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos.

Una cuestión relevante es que, si bien los árboles de decisión se plantean de izquierda a derecha situando primero las decisiones y representando, posteriormente, los distintos estados de naturaleza, se resuelven de atrás hacia delante (*i.e.*, de derecha a izquierda) siguiendo los nudos de decisión del problema.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE ÁRBOLES A DECISIÓN A PROBLEMÁTICAS DE CAPACIDAD PRODUCTIVA

PIRATA, S.A. se plantea ampliar la capacidad de su instalación. Sin embargo, los dos socios que la dirigen plantean alternativas muy diferenciadas respecto al tema. El señor Medina, más adverso al riesgo, piensa en la posibilidad de construir una instalación con poca capacidad, con un coste de 2.000.000 €, y en establecer un período de prueba de un año, pasado el cual, si la demanda que se presenta es alta, se podría ampliar la capacidad de la instalación a una grande, con un coste adicional de 3.000.000 € y, en el caso de que la demanda sea baja, se seguiría con la instalación de capacidad pequeña.

El otro socio, el señor Sosa, cree ciegamente que la demanda será alta y que, por tanto, debería procederse a la construcción de una instalación con gran capacidad, con un coste de 4.000.000 €, aunque si se equivoca y la demanda que se presenta es baja, no sería posible adaptar la capacidad de la instalación a una menor producción.

Hay un 80% de probabilidad de que la demanda que se presente el próximo año sea alta y, si es así, la probabilidad de que se siga manteniendo dicho estado de demanda durante los cuatro próximos años es del 90%. Si, por el contrario, el próximo año se experimenta una demanda baja, ésta se mantendría igual en los cuatro años restantes.

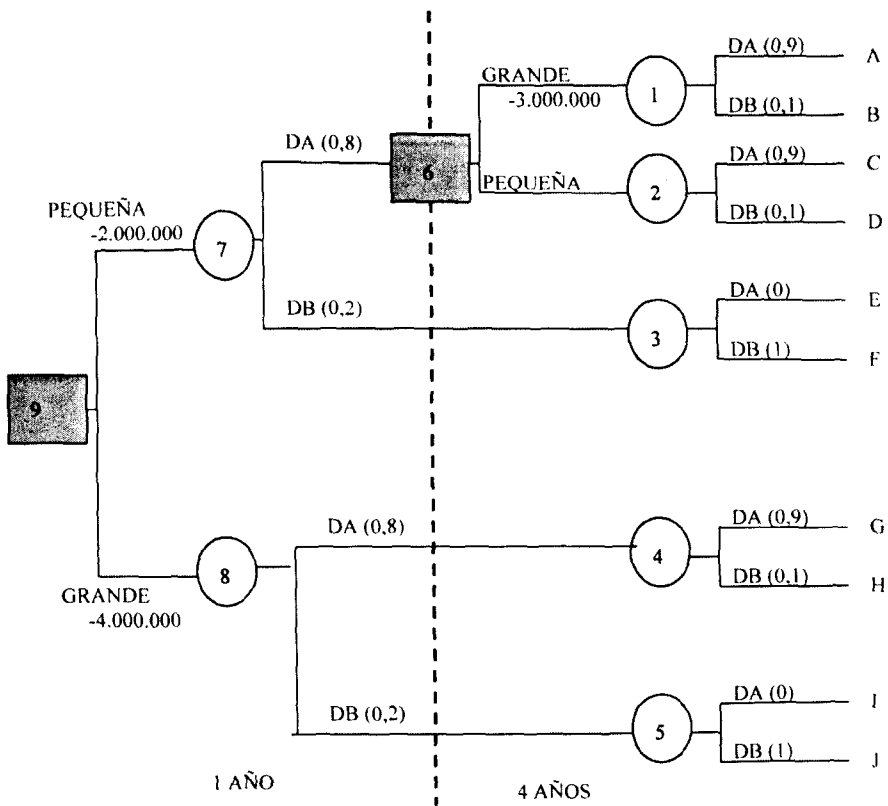
Para poder determinar los valores finales de cada rama, la siguiente tabla muestra los beneficios anuales esperados, excluidos los datos de inversión y probabilidades aportados anteriormente. Recuerde que el horizonte temporal considerado es de cinco años.

Capacidad	Demanda	Alta	Baja
Grande		1.500.000	400.000
Pequeña		1.000.000	500.000

Resuelva el árbol de decisión asociado al problema, indicando el tipo de instalación a construir en función de su capacidad.

SOLUCIÓN

A continuación se representa gráficamente el árbol de decisión asociado a la información proporcionada en este enunciado, enumerándose los diferentes nudos en el orden de resolución (1-9) y asignándosele a las ramas una letra (A-J) de tal forma que se pueden calcular sus valores. De esta forma, la tabla 1 se elabora con los datos y cálculos realizados en millones de euros.



Cálculo de los nudos aleatorios y determinación de los nudos decisionales		1 ^{er} Periodo = 1 año		2 ^{do} Periodo = 4 años		Rama			
		Bfos + Ing.	Gastos	Bfos + Ing.	Gastos				
Nudo 9: (Decisional) la mejor alternativa es construir la instalación de capacidad pequeña. El valor del nudo sería 2,34	Nudo 7: $VME = 2,8 \times 0,8 + 0,5 \times 0,2 = 2,34$	Nudo 6: (Decisional) la mejor alternativa es quedarse con la instalación de capacidad pequeña, no ampliar. El valor del nudo sería 2,8	Nudo 1: $VME = 2 \times 0,9 + (-2,4) \times 0,1 = 1,56$		1 x 1	- 2	1,5 x 4	- 3	A = 2
			Nudo 2: $VME = 3 \times 0,9 + 1 \times 0,1 = 2,8$		1 x 1	- 2	0,4 x 4	- 3	B = -2,4
			Nudo 3: $VME = 0 + 0,5 \times 1 = 0,5$		1 x 1	- 2	1 x 4		C = 3
Nudo 8: $VME = 3,06 \times 0,8 + (-2) \times 0,2 = 2,048$	Nudo 4: $VME = 3,5 \times 0,9 + (-0,9) \times 0,1 = 3,06$	Nudo 5: $VME = 0 + (-2) \times 1 = -2$	No es necesario calcular el valor de la rama E puesto que cualquiera que sea el valor que tome será multiplicado por cero.		0,5 x 1	- 2	0,5 x 4		F = 0,5
			Nudo 4: $VME = 3,5 \times 0,9 + (-0,9) \times 0,1 = 3,06$		1,5 x 1	- 4	1,5 x 4		G = 3,5
			Nudo 5: $VME = 0 + (-2) \times 1 = -2$		1,5 x 1	- 4	0,4 x 4		H = -0,9
		No es necesario calcular el valor de la rama I puesto que cualquiera que sea el valor que tome será multiplicado por cero.		0,4 x 1	- 4	0,4 x 4		- 2	

El valor medio esperado (VME) es de 2,34 millones de euros.

2. LA TEORÍA DE COLAS

Si bien es evidente que el problema de la capacidad y su planificación es algo común a las empresas de fabricación y a las de servicio, se ha de reseñar que especialmente en el medio y corto plazo, la problemática de la capacidad suele ser más difícil en el caso de los servicios, los cuales están sujetos a unas características particulares. Si en las fábricas, la carencia de los recursos necesarios origina colas de piezas, trabajos en espera de ser procesados, que se almacenan delante de las máquinas, la situación se agrava cuando el trabajo en espera es una persona, insatisfecha por el tiempo que está perdiendo en la cola. Es importante que la Dirección de Operaciones tenga en cuenta la posible existencia de este fenómeno y tome las decisiones oportunas para evitar que se produzca, al mismo tiempo que se optimiza el proceso de planificación en el uso de la capacidad productiva disponible. Una herramienta para facilitar la toma de decisiones en este contexto es sin duda la teoría de colas.

El objetivo esencial de la teoría de colas será la minimización de los costes totales que proceden esencialmente de dos fuentes: la propia espera (como los que se derivan del coste del espacio de espera de los clientes o de los productos en curso y de la posible pérdida de clientes o de ventas por no haber sido atendidos a tiempo) y la capacidad del sistema (que se generan por el hecho de mantener un determinado nivel de servicio). El fin último será encontrar un equilibrio entre el coste de proporcionar un determinado nivel de servicio mediante una cierta capacidad y el coste de la espera de los clientes.

En torno a la teoría de colas se ha modelizado un completo desarrollo matemático en el que la notación a emplear es la que se muestra a continuación:

Notación para colas infinitas

λ = Tasa de llegada

μ = Tasa de prestación de servicio

$1/\lambda$ = Tiempo promedio entre llegadas

$1/\mu$ = Tiempo promedio de prestación de servicio

p = Utilización potencial del canal

L_q = Número medio de clientes (llegadas) esperando a ser atendidos en la cola

L_s = Número medio de clientes (llegadas) en el sistema, incluyendo a cualquiera que esté siendo atendido

W_q = Tiempo medio de espera de los clientes en la cola

W_s = Tiempo medio de permanencia de los clientes en el sistema

Notación para colas infinitas (continuación)

n = Número de clientes en el sistema

M = Número de canales de servicio idénticos

P_0 = Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema

P_n = Probabilidad de que haya n clientes en el sistema

$P_{n > k}$ = Probabilidad de que haya más de k clientes en el sistema

En este capítulo se propone una serie de problemas referidos a dos modelos de colas cuyas características se sintetizan en la siguiente tabla:

Modelo A – M=1	Modelo B – M>1
<ol style="list-style-type: none"> 1. Las llegadas se atienden según el criterio FIFO, y cada cliente espera a ser atendido, independientemente de la longitud de la línea o cola. 2. Las llegadas son independientes de las llegadas anteriores, pero el número medio de llegadas (ratio de llegada) no varía. 3. Las llegadas se describen mediante una distribución de probabilidad de Poisson y provienen de una población infinita (o muy larga). 4. Los tiempos de servicio varían de un cliente al siguiente y son independientes unos de otros, pero su ratio medio es conocido. 5. El tiempo de servicio se distribuye siguiendo una función de probabilidad exponencial negativa. 6. El ratio de servicio es más rápido que el ratio de llegada. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La tasa de llegada se distribuye según una Poisson y la de servicio siguiendo una exponencial negativa. 2. Todos los canales trabajan a la misma velocidad o tasa de servicio. 3. Los clientes forman una única fila y se sigue el criterio de atender primero al primero que llega a la fila.

A continuación se presentan las ecuaciones a utilizar para resolver ambos modelos.

Ecuaciones para la resolución de problemas de colas	
Modelo A - M=1	Modelo B - M>1
$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L_s = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^M}{(M-1)!(M\mu - \lambda)^2} P_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu}$
$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$	$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu}$
$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\lambda}{\mu} L_s$	$W_s = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^M}{(M-1)!(M\mu - \lambda)^2} P_0 \cdot \frac{1}{\mu} = \frac{L_s}{\lambda}$
$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\lambda}{\mu} W_s$	$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{M-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right] + \frac{1}{M!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^M \frac{M\mu}{M\mu - \lambda}} \text{ para } M\mu > \lambda$
$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = \frac{L_q}{\lambda}$
$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$	$\rho = \frac{\lambda}{M\mu}$
$P_n = P_0 \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$	
$P_{n > k} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1}$	

EJEMPLO DE TEORÍA DE COLAS

El mecánico de un taller es capaz de realizar por término medio 3 cambios de aceite en una hora, siguiendo este ratio una distribución exponencial negativa. Por término medio se estima que cada 30 minutos llega un cliente al taller solicitando un cambio de aceite. El taller tiene la política de atender primero al primer cliente que llega, y éstos provienen de una población de posibles compradores muy grande (casi infinita). El propietario del taller estima que el coste del tiempo de un cliente en el taller, en términos de insatisfacción y tiempo perdido en el que podría hacer otra cosa, es de 7 u.m./hora. El principal coste que el propietario del taller tiene es el salario del mecánico, el cual cobra 10 u.m./hora.

El propietario del taller está pensando habilitar una nueva zona del garaje y contratar a un segundo mecánico para encargarse también de este servicio. Los clientes, en este caso, esperarán en una línea simple hasta que uno de los dos mecánicos esté libre. Compare los dos sistemas tanto desde el punto de vista de las características operativas como de los costes asociados a cada uno de ellos.

SOLUCIÓN

El ratio de servicio (μ) es de 3 clientes por hora mientras que cada 30 minutos llega un cliente al taller ($1/\lambda = 30$ minutos/cliente). Esto significa que el ratio de llegada (λ) es:

$$\lambda = \frac{1}{30} \text{ clientes/minuto} = \frac{1}{30} \cdot 60 = 2 \text{ clientes por hora.}$$

Se comprueba que $M \mu > \lambda$. En este caso $M \mu = 3 > \lambda = 2$.

En la situación de partida el número de canales es igual a 1 ($M=1$) por lo que se trata de un modelo tipo A, lo que indica cuáles son las fórmulas a utilizar. A partir de aquí simplemente se trata de sustituir en las fórmulas los parámetros por sus valores e interpretar los resultados.

$L_s = 2$ coches. Por término medio hay 2 coches en el taller.

$W_s = 1$ hora. Por término medio cada cliente está 1 hora en el taller (incluye el tiempo de espera más el tiempo de servicio).

$L_q = 1,33$ coches. Por término medio hay 1,33 coches en la cola.

$W_q = 0,66$ horas = 40 minutos. Por término medio cada cliente está 40 minutos en espera.

$\rho = 0,666$. Por término medio el mecánico está ocupado el 66,6% del tiempo.

$P_0 = 0,333$. Por término medio el taller está vacío el 33,3% del tiempo.

Una vez que se han realizado los cálculos de las características operativas del sistema de colas, es importante hacer un análisis económico de su impacto. En función de la información del problema y de los resultados obtenidos, se puede calcular el coste de la capacidad del sistema y el coste para los clientes,

bien en el sistema o bien únicamente en la cola. En este caso, se utilizará el coste en el sistema, ya que este dato es el que se ofrece en el enunciado del problema:

- *Coste de los clientes en el sistema.* Se parte del coste de un cliente por hora en el sistema, $C_{Ws} = 7$ u.m./hora. Según se ha calculado, el número de horas que por término medio está un cliente en el sistema es $Ws = 1$ hora. Como cada hora acuden, por término medio, dos coches ($\lambda=2$ clientes/hora) → **COSTE DE LOS CLIENTES (M=1) = 7 u.m./hora · 2 clientes/hora · 1 hora/cliente = 14 u.m./hora.**
- *Coste del sistema, es decir, coste del servidor.* Como el principal coste es el salario del mecánico → **COSTE DE LA CAPACIDAD (M=1) = 10 u.m./hora.**

Con lo que:

COSTE TOTAL (M=1) = COSTE DE LOS CLIENTES (M=1) + COSTE DE LA CAPACIDAD (M=1) = 14 + 10 = 24 u.m./hora.

Ahora se han de calcular las características operativas y los costes del segundo sistema. En este caso el número de canales es de 2 (M=2) puesto que el nuevo mecánico cuya contratación se plantea va a desempeñar las mismas funciones que el primero. Por tanto, se trata de un modelo B. Antes de realizar los cálculos se comprueba que $M \mu = 2 \cdot 3 = 6 > \lambda=2$, y ahora se calculan los parámetros:

$P_0 = 0,5$. Por término medio el taller está vacío el 50% del tiempo.
 $L_s = 0,75$ coches. Por término medio hay 0,75 coches en el taller.
 $W_s = 0,375$ horas = 22,5 minutos. Por término medio cada cliente está 22,5 minutos en el taller (incluye el tiempo de espera más el tiempo de servicio).
 $L_q = 0,083$ coches. Por término medio hay 0,083 coches en la cola.
 $W_q = 0,0415$ horas = 2,49 minutos. Por término medio cada cliente está 2,49 minutos en espera.
 $\rho = 0,333$. Por término medio cada mecánico está ocupado el 33,3% del tiempo.

- *Coste de los clientes en el sistema.* Como se conoce el coste de un cliente por hora en el sistema ($C_{Ws} = 7$ u.m./hora), el número de horas que por término

medio un cliente está en el sistema ($W_s = 0,375$ horas) y el número de clientes que acuden al taller ($\lambda = 2$ clientes/hora):

COSTE DE LOS CLIENTES ($M=2$) = 7 u.m./hora · 2 clientes/hora · 0,375 horas/cliente = 5,25 u.m./hora.

- *Coste del sistema, es decir, coste de los servidores.* Asimismo, puesto que el principal coste de capacidad es el salario del mecánico, habrá que pagar a dos mecánicos:

COSTE DE LA CAPACIDAD ($M=2$) = 2 · 10 u.m./hora = 20 u.m./hora.

En este caso,

COSTE TOTAL ($M=2$) = COSTE DE LOS CLIENTES ($M=2$) + COSTE DE LA CAPACIDAD ($M=2$) = 5,25 + 20 = 25,25 u.m./hora.

Ahora se pueden comparar las características operativas y los costes de ambos sistemas:

Características y costes	Canal simple	Canal doble
P_0	0,33	0,5
L_s	2 coches	0,75 coches
W_s	60 minutos	22,5 minutos
L_q	1,33 coches	0,083 coches
W_q	40 minutos	2,5 minutos
ρ	0,666	0,333
C_{total}	24 u.m./hora	5,25 u.m./hora

El incremento del servicio tiene un efecto drástico en casi todas las características. En particular en el tiempo que un cliente espera en la cola, ya que ha pasado de 40 minutos a 2,5 minutos, reducción bastante considerable. Asimismo, desde el punto de vista económico, la mejora también es considerable.

3. PROBLEMAS PROPUESTOS

PROBLEMA 1

La empresa DERMIC, S.L., dedicada a la fabricación y comercialización de productos de cosmética, se está planteando la posibilidad de ampliar su capacidad, que pasaría a ser grande, mediante la adquisición de una nave próxima a la suya, con lo que la empresa pasaría a tener dos naves. Esta inversión implicaría un desembolso de 70 millones de u.m. y unos gastos de mantenimiento de 200.000 u.m. al mes. En la actualidad DERMIC, S.L. desarrolla su actividad en unas instalaciones de capacidad media, situadas en el polígono de Arinaga, que le suponen unos gastos anuales en concepto de agua, luz y teléfono de 1 millón de u.m.

Transcurrido un año, la empresa planificará sus necesidades de capacidad para un período de tres años. En el caso de que la empresa hubiese adquirido la nave anexa, si la demanda es baja, se planteará vender dicha instalación por un precio de 80 millones de u.m.

En el supuesto de que DERMIC, S.L. hubiese decidido en el momento inicial no comprar la nave y si la demanda es alta, se replanteará ahora dicha decisión, siendo en este momento el precio de compra de 75 millones de u.m., manteniéndose sin cambios el importe de los gastos de mantenimiento de ambas instalaciones; sin embargo, si la demanda es media, la empresa se podrá plantear la posibilidad de aumentar un turno en sus instalaciones actuales, con lo que su capacidad se doblaría, aumentando los gastos de mantenimiento en un 60% y duplicando sus beneficios anuales previstos.

En el primer año hay un 40% de probabilidad de que la demanda sea alta y un 30% de que sea baja. Durante el segundo período, la demanda sólo presentará dos estados de naturaleza. Así, si en el primer año la demanda fue alta o media, la probabilidad de que se presente demanda alta es del 70%, mientras que si fue baja, la probabilidad de que se mantenga igual es del 60%.

Los beneficios anuales previstos, en millones de unidades monetarias, excluidos los datos que se han especificado anteriormente, se encuentran recogidos en la tabla siguiente:

Capacidad \ Demanda	Demanda		
	Alta	Media	Baja
Grande	40	30	20
Mediana	15	10	8

Resuelva y comente el árbol de decisión asociado al problema, indicando cuál es la alternativa más adecuada.

(Solución → $VME = 55.280.000$ u.m.)

PROBLEMA 2

Una cadena de hipermercados ha decidido instalarse en Gran Canaria y para ello ha dirigido un escrito al alcalde de una ciudad comercial solicitando la licencia para poder realizar dicha obra. Después de mucho meditar, el alcalde contesta afirmativamente a la propuesta, ofreciendo la posibilidad de adquirir un terreno en el que construir un hipermercado de capacidad pequeña a la entrada de la ciudad o bien comprar otro para la construcción del hipermercado con capacidad media, aunque más alejado. Los costes de la compra del solar y del acondicionamiento de las instalaciones ascienden a 35 y 50 millones de u.m., respectivamente según cada alternativa. La empresa tiene que tener en cuenta que si adquiere el solar pequeño no tendrá posibilidad de aumentar la instalación posteriormente.

La probabilidad de que la demanda en el primer año sea alta es del 50%, de que sea moderada del 30% y de que sea baja del 20%. Pasado este período la empresa planificará sus necesidades de capacidad para un período de 5 años.

En caso de haber optado por el solar pequeño y si la demanda es alta, únicamente podrá plantearse ampliar su plantilla, aunque con una serie de limitaciones dadas las pequeñas dimensiones: sólo podrá contratar 3 jefes de sección, con un coste de 4 millones de u.m. anuales cada uno y sólo podrá contratar 10 cajeras más, de las cuales 4 por su rango cobrarán 2 millones de u.m. anuales cada una y las restantes 1 millón de u.m. anuales cada una. Si la demanda en el primer período es moderada, la empresa podrá contratar a un jefe de sección con un coste de 4 millones de u.m. anuales y 8 cajeras, de las cuales 2 tienen categoría superior. Pero si la demanda es baja, la empresa habrá acertado en su decisión.

Por el contrario, si la empresa hubiese decidido comprar el solar medio, y la demanda se presenta alta o media en el primer año, no tendrá problemas de capacidad. Pero si la demanda es baja la empresa puede optar por hacer una regulación de empleo, reduciendo así su capacidad y teniendo en cuenta que tendrá que pagar, en concepto de indemnizaciones, 25 millones de u.m. en un período de 5 años.

La probabilidad de que la demanda en el segundo período sea alta es de un 40%, y de que sea moderada de un 50%. Los beneficios anuales previstos,

en millones de u.m., excluidos todos los datos que se han especificado anteriormente son:

Capacidad \ Demanda	Alta	Moderada	Baja
	Media	12	8
Pequeña	8	7	5

(Solución $\rightarrow VME=8,1$ millones de u.m.)

PROBLEMA 3

La empresa Coimbra, S.A. actualmente opera en una instalación de capacidad pequeña que le supone unos costes anuales de mantenimiento de 400.000 u.m. Sin embargo, necesita ampliar su capacidad, dado que las estimaciones de demanda alta para el próximo año se establecen en 0,6. Para ello, ha pensado vender su actual instalación en 12 millones de unidades monetarias e invertirlos en una instalación de capacidad media, cuyo precio de adquisición es de 20 millones de unidades monetarias y soporta unos gastos anuales de mantenimiento de 1 millón de unidades monetarias; o duplicar la instalación actual (lo cual duplicaría los beneficios actuales), comprando y construyendo un solar anexo, ascendiendo los costes de adquisición a 4 millones, los de construcción a 7 millones de unidades monetarias y, los gastos de mantenimiento anual del anexo a 500.000 u.m.

Si la demanda que se presenta en el primer período es alta y se optó por la primera alternativa, la empresa se planteará para el período de los dos años siguientes contratar horas extra con su personal, asumiendo unos costes laborales extras de 500.000 u.m. al mes, aunque esta opción no supondrá un aumento de su capacidad. Sin embargo, si la opción elegida fue la construcción del anexo, no tomará decisión alguna debido a que su capacidad se adecua perfectamente a la demanda del período.

Por otro lado, si la demanda que se presenta en el primer período es baja y se hubiese optado por la compra de la instalación de capacidad media, se planteará reducir parte del personal contratado en la modalidad de duración determinada o por eventualidades de la producción, ascendiendo las indemnizaciones a 3 millones de u.m. Sin embargo, esta alternativa no es válida si se optó por el anexo, y se plantea entonces ofertar en alquiler dicha instalación por un importe de 700.000 u.m. al mes, soportando el inquilino los gastos de mantenimiento de la misma.

Estas decisiones están propiciadas por las previsiones que se han realizado para los años siguientes, ya que se ha comentado que la probabilidad de que se presente el mismo estado de naturaleza que en el año anterior es del 60 por ciento.

Los beneficios previstos en millones de u.m., sin incluir los datos anteriormente mencionados, se recogen en la siguiente tabla:

Capacidad \ Demanda	Alta	Baja
	Pequeña	15
Mediana	25	18

Plantee, resuelva e interprete el árbol de decisión asociado a tal problemática.

(Solución \rightarrow $VME = 6,7$ millones de u.m.)

PROBLEMA 4

Una importante empresa automovilística posee actualmente una capacidad grande proporcionada por la disponibilidad de dos instalaciones: una en el centro de la ciudad y que le supone unos gastos anuales de 10 millones de unidades monetarias y otra en la zona industrial de Arinaga, con unos gastos anuales de 50 millones de unidades monetarias.

Como consecuencia de las diferentes etapas de crisis que ha atravesado el sector y de las malas gestiones que ha tenido la empresa, se están planteando vender las instalaciones de Arinaga en 500 millones de unidades monetarias para intentar reflotar la empresa y quedarse exclusivamente con la infraestructura urbana.

Según las informaciones aportadas por las entidades pertinentes, hay una probabilidad del 80% de que el próximo año la demanda sea alta, y para los dos años posteriores, existe una probabilidad del 60% de que no varíe el estado de demanda del período anterior.

Si no se decide vender y la demanda es baja en el primer período, la empresa se planteará una regulación de empleo que le supone un desembolso de 6 millones de unidades monetarias mensuales durante los 2 años siguientes, quedándose en este caso con la mitad de la capacidad que poseía en ese momento y siendo ahora sus gastos de mantenimiento totales un 20% menos.

Si la empresa decide seguir con sus actuales instalaciones y la demanda es alta, se esperan unos beneficios de 700 millones de unidades monetarias anuales, pero si la demanda es baja, se estiman en 100 millones de unidades monetarias anuales. Si por el contrario, su capacidad es equivalente a las medianas instalaciones urbanas, se estiman unos beneficios de 400 millones anuales si la demanda es alta, pero si no se cumple esta condición éstos ascienden a 20 millones anuales.

Plantee, solucione e interprete el árbol de decisión asociado a tal problemática.

(Solución \rightarrow VME = 1.272 millones de u.m.)

PROBLEMA 5

Poliana, S.L. es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de productos alimenticios que cuenta en la actualidad con una planta de producción que le genera unos gastos mensuales de 300.000 u.m. El director general de dicha empresa ha decidido aplicar una estrategia expansiva, puesto que la empresa debe planificar su capacidad para los próximos cinco años, teniendo que revisar su objetivo tras el segundo año, a partir del cual debe mantener su decisión en los tres años restantes. Las alternativas con las que cuenta son:

1. Adquirir una nueva instalación de capacidad mediana por 30.000.000 de u.m. y vender la actual de menor capacidad en 15.000.000 de u.m. Esta nueva instalación tendría unos gastos de mantenimiento de 6.000.000 de u.m. al año.
2. Seguir con la planta actual y ampliar la plantilla contratando a cinco trabajadores, lo que supondría un aumento del 30% en los costes. Esta opción no implica un aumento de capacidad.

Al cabo de dos años, si la empresa optó por adquirir la nueva instalación y la demanda fue alta, se planteará la posibilidad de subcontratar producción adicional a otra empresa del sector, lo que generaría un coste anual de 3.000.000 de u.m. Si la demanda fue baja, la decisión tomada inicialmente se mantendrá. Si se optó por mantener la instalación actual y la demanda fue alta, una vez transcurrido el segundo año, la empresa tiene la posibilidad de alquilar un local anexo para ampliar la capacidad. Esto le supondría un coste

adicional de 200.000 u.m. al mes. En cambio si la demanda fue baja, no se tomará ninguna decisión adicional.

Los beneficios anuales previstos, excluidos todos los datos mencionados anteriormente, expresados en millones de u.m., se encuentran recogidos en la siguiente tabla:

Capacidad \ Demanda	Demanda	
	Alta	Baja
Pequeña	18	12
Mediana	36	24
Grande	60	38

La probabilidad de que se dé una demanda alta en los dos primeros años es del 60%. La probabilidad de que en los tres últimos años la demanda sea igual que en los dos primeros es del 70%.

Plantee, solucione e interprete el árbol de decisión asociado a tal problemática.

(Solución $\rightarrow VME = 141,24$ millones de u.m.)

PROBLEMA 6

La empresa BUBA, S.L. dispone en la actualidad de una planta que le proporciona unos ingresos anuales de 6.000.000 ó 3.000.000 de u.m. dependiendo de si la demanda es alta o baja, respectivamente. Además dicha planta le supone unos costes anuales de mantenimiento de 2.000.000 de u.m. y el pago de un alquiler de 100.000 u.m. mensuales. Ante las buenas perspectivas económicas que se presentan, el propietario de BUBA, S.L. se está planteando la posibilidad de realizar una serie de contratos temporales a fin de conseguir un aumento de la capacidad de un 25%, lo cual incrementaría los costes anuales de mantenimiento en 800.000 u.m.

Una vez transcurrido el primer año, la empresa deberá planificar sus decisiones para un período de dos años en función de la actuación del año anterior. Así, si se hubiese optado por realizar los contratos temporales y la demanda hubiese sido alta, la empresa deberá decidir entre renovar dichos contratos o rescindirlos; si la demanda hubiese sido baja, BUBA, S.L. no los renovará. Sin embargo, si no se optó por la contratación temporal y la demanda

fue alta, la empresa se planteará ahora duplicar su capacidad, lo que le supondría un incremento del 30% de los actuales gastos de mantenimiento y duplica sus ingresos estimados.

La probabilidad de que se dé una demanda alta en el primer año es del 70%. Pasado este primer año, si la demanda fue alta la probabilidad de que se mantenga dicho estado es del 80%, mientras que si la demanda fue baja en el primer año, ésta continuará así para el resto del horizonte temporal.

Plantee, solucione e interprete el árbol de decisión asociado a tal problemática.

(Solución \rightarrow VME = 11,58 millones de u.m.)

PROBLEMA 7

La fábrica de muñecas LLORONA, S.A., una vez elaborado el plan de expansión, tiene que ampliar la capacidad de la planta que actualmente posee, sin embargo lo que no tiene tan claro es cómo llevar a cabo la expansión, puesto que se le plantean varias posibilidades.

El Sr. Romero plantea la posibilidad de comprar una nave de gran capacidad en el Sebadal, una vez vendida la actual por un importe de 15 millones. La nueva nave tendría un coste de adquisición de 40 millones y un coste bianual de mantenimiento de 2 millones.

El Sr. Astoria opina que lo mejor es quedarse con la nave actual y comprar un local anexo que supondría un coste de compra de 10 millones y 0,5 millones de mantenimiento bianual.

Pero además se plantea la posibilidad de mantener el local actual que le supone un coste anual de 1 millón de unidades monetarias y subcontratar su producción con otra empresa según sus necesidades en cada momento, lo que le permite equiparar su capacidad a la demanda. Debido a estas características, si la demanda es baja el coste anual de la subcontratación es de 6 millones, si es media de 9 millones y si es alta de 12 millones.

El horizonte de expansión que se plantean es de 6 años, realizando dos años después, una revisión de la decisión llevada a cabo al principio del período. Es en ese momento donde dependiendo de las circunstancias de la demanda continuará con la capacidad elegida o variará su elección inicial. En el caso de presentarse demanda baja y si se hubiera optado por la solución planteada por el señor Romero, tendría la opción de alquilar la mitad de la

nave quedándose con una capacidad pequeña y le supondría unos ingresos adicionales de 5 millones cada año. Sin embargo, si la decisión adoptada hubiera sido la del Sr. Astoria, es decir, trabajar con una capacidad media, la opción sería alquilar una cuarta parte de sus instalaciones, reduciendo así su capacidad a pequeña y proporcionándole 2 millones adicionales al año. Por último, si la demanda es alta no llevaría a cabo ninguna acción correctora de la oferta.

Las probabilidades de los distintos estados de demanda difieren considerablemente. Durante el período comprendido por los dos primeros años del horizonte de estudio es de un 35% la posibilidad de que ésta sea baja, y de un 65% de que sea alta. Sin embargo, para los cuatro años posteriores, los posibles estados de naturaleza son de tres tipos. La probabilidad de que no varíe la demanda con respecto al período anterior es del 70% y de que pase de una categoría a la inmediata inferior es del 20%. Además, la probabilidad de que siendo la demanda baja, ésta aumente un grado es del 10%.

Los beneficios anuales esperados en millones de unidades monetarias, excluidos los datos que se han especificado anteriormente son los siguientes:

Capacidad \ Demanda	Alta	Media	Baja
Grande	30	20	10
Mediana	15	10	5
Pequeña	10	5	3

Indique cuál es la opción más conveniente para la empresa.

(Solución $\rightarrow VME = 103,6$ millones de u.m)

PROBLEMA 8

El crecimiento del mercado de azulejos en los últimos años ha provocado que la fábrica de azulejos ROTURA, S.A. revise su capacidad para los próximos 6 años, como consecuencia de lo cual se plantea las siguientes opciones.

En primer lugar, se plantea vender la instalación que tiene actualmente, y que le proporciona una capacidad pequeña, por 40 millones de unidades monetarias y comprar una nueva que le permite una capacidad grande por un importe de 60 millones de unidades monetarias. La nueva instalación

requiere un mantenimiento que asciende a 150.000 unidades monetarias bimensuales.

Por otro lado, tiene la posibilidad de quedarse con su actual instalación, que le supone un coste de mantenimiento de 50.000 unidades monetarias mensuales, y firmar contratos de subcontratación de tal forma que se adapte en todo momento la capacidad al nivel de demanda. El coste de la subcontratación va a depender del nivel de demanda y, por tanto, de la capacidad contratada, de tal forma que si la demanda es alta el coste asciende a 9 millones y si es baja a 6 millones de unidades monetarias anuales.

Pasado un primer período de 3 años, la empresa revisará las decisiones adoptadas en el momento inicial de tal forma que, si la opción elegida hubiera sido la primera y la demanda que se presenta realmente en ese primer período fuera baja se planteará alquilar una parte de la instalación reduciendo su capacidad a la mitad, de tal forma que obtendría unos ingresos anuales adicionales de 7 millones de unidades monetarias, soportando azulejos ROTURA, S.A. los gastos de mantenimiento. Sin embargo, si la alternativa elegida hubiera sido la segunda seguiría con la misma política de subcontratación, independientemente del estado de la naturaleza que se presente en ese primer trienio.

Asimismo, se dispone de información suficiente del mercado como para considerar que la probabilidad de que se presente demanda alta en el primer período es del 65% y que, pasado ese trienio, la probabilidad de que se repita este estado de naturaleza es del 80%. Ahora bien, si la demanda es baja en el primer período ésta continuará así para el resto del horizonte temporal. Sabiendo que los beneficios anuales previstos, excluidos todos los datos mencionados anteriormente, expresados en millones de unidades monetarias, son:

Capacidad \ Demanda	Alta	Baja
	Grande	60
Pequeña	18	12

Plantee, solucione e interprete el árbol de decisión asociado a tal problemática.

(Solución \rightarrow VME = 58 millones de u.m.)

PROBLEMA 9

La empresa GRAFIGLASS, S.A., cuya tarea se centra en la estampación de rótulos y anagramas, actualmente dispone de una capacidad tal que le permite obtener unos beneficios mensuales de un millón y medio de unidades monetarias o de medio millón de unidades monetarias dependiendo de si la demanda es alta o baja aunque eso es sin tener en cuenta el coste bimensual de mantenimiento que tiene la instalación y que asciende a medio millón de unidades monetarias. En estos momentos, la empresa está planificando su capacidad para los próximos 4 años, si bien al final de un primer período de un año puede ajustar la decisión tomada inicialmente para los posteriores tres años. Por ello, el director de operaciones, tras un análisis de su experiencia así como del mercado en que desarrollan actualmente su actividad, plantea varias opciones de expansión ante el Consejo de Administración de la empresa.

En primer lugar, y puesto que los resultados que él ha obtenido son de lo más esperanzadores, podrían adquirir una nave anexa a la actual al mismo tiempo que maquinaria adecuada, de tal forma que su capacidad se vea incrementada al doble lo que implicaría ampliar sus beneficios actuales, todo lo cual supondría un desembolso inicial de 35 millones de unidades monetarias y un coste mensual de mantenimiento de 300.000 unidades monetarias. Ahora bien, si se presenta demanda baja en el primer período de estudio, el director de operaciones plantea las siguientes alternativas para el empleo del exceso de capacidad: alquilar la nave anexa con unos ingresos mensuales de 5 millones de unidades monetarias, vender la nave actual en 40 millones de unidades monetarias, u ofrecer el exceso de capacidad a otra empresa lo que le proporcionaría unos ingresos mensuales extras de un millón de unidades monetarias; cualquiera de las alternativas anteriores le supondría a la empresa volver a su capacidad actual.

Por otro lado, también plantea la alternativa de quedarse en la nave actual pero renovando la maquinaria que tienen en estos momentos con un coste de 15 millones de unidades monetarias, lo que le proporciona, en períodos de demanda alta, un incremento en su capacidad del 30% mientras que en períodos de demanda baja el incremento experimentado es del 10%. Esta opción no le permite rectificaciones, en cuanto a la capacidad se refiere, al final del primer periodo de estudio.

Asimismo, el minucioso estudio del mercado que ha realizado el director le permite informar de que la probabilidad de demanda alta en el primer

período es del 35% y que, en el segundo período, se repetirá el estado de naturaleza que se presente en el primero.

Con la información aportada anteriormente se pide realizar un árbol de decisión de tal forma que se le facilite al Consejo de Administración de la empresa la decisión a tomar en cada momento.

(Solución $\rightarrow VME = 125,5$ millones de u.m.)

★ PROBLEMA 10

Una sastrería especializada en moda de caballeros es regentada por una persona que es capaz de atender 5 clientes por hora. Se ha observado que por término medio el establecimiento recibe la visita de 2,2 clientes por hora. Las llegadas se distribuyen siguiendo una distribución de Poisson y el tiempo de servicio según una exponencial. Se pide:

- ¿Cuál es la probabilidad de que el vendedor esté desocupado?
- ¿Cuál es la probabilidad de que un cliente esté siendo atendido y no haya ninguno esperando?
- ¿Cuál es la probabilidad de que un cliente esté siendo atendido y otro esté esperando?
- ¿Cuál es la probabilidad de que un cliente esté siendo atendido y dos estén esperando?
- ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de dos clientes esperando?
- ¿Cuál es el tiempo medio que un cliente espera antes de ser atendido?

SOLUCIÓN

- | | | |
|---------------------------------|-----------------------|---|
| a. $1 - \rho = 0,56$ | b. $P_1 = 0,2464$ | c. $P_2 = 0,1084$ |
| d. $P_3 = 0,04770$
$0,04770$ | e. $P_n > 3 = 0,0375$ | f. $Wq = 0,1571$ horas = $9,42$ minutos |

★ PROBLEMA 11

“Viveres Alfonso” es una tienda de frutas con una caja para cobrar. Los clientes llegan a la caja en un ratio de 15 clientes por hora y se tarda 3 minutos en cobrar y empaquetar. Las llegadas se distribuyen siguiendo una función Poisson y el tiempo de servicio según una exponencial. Si Alfonso no quiere que el tiempo que el cliente espere para pagar exceda de 3 minutos, ¿qué le diría sobre su sistema actual de colas?

$$1/\mu = 3 \quad \lambda = 15$$

20 clientes hora

Después de revisar los resultados del análisis anterior, Alfonso cree que podría contratar a un empleado para ayudar en el cobro a los clientes y con este nuevo empleado que ayuda al cajero, el tiempo medio de servicio podría reducirse a 2 minutos. Sin embargo, Alfonso también estaba considerando instalar una segunda caja debiendo entonces contratar a otro cajero. ¿Debería Alfonso contratar un empleado para ayudar al actual cajero o debería operar con dos cajas? Justifique su recomendación.

SOLUCIÓN

- a. $Wq=0,15$ horas = 9 minutos.
- b. $M=1$; $Lq=0,5$ clientes; $Wq=0,0333$ horas; $\rho=0,5$
 $M=2$; $Lq=0,1227$ clientes; $Wq=0,0081$ horas; $\rho=0,375$

PROBLEMA 12

En una central telefónica se tarda 30 segundos ^{por cada llamada} en atender la llamada. Existen 10 líneas en esta central y se reciben un promedio de 12 llamadas por minuto. Se puede suponer que las velocidades de llegada siguen una distribución de Poisson. Se pide:

- a. ¿Cuánto tiempo promedio puede esperar un cliente para recibir el servicio?
- b. ¿Cuánto trabajan los telefonistas?
- c. Si solamente 8 de las líneas tienen personal, ¿podrán soportar la carga? ¿Qué efecto tiene esto sobre el tiempo de espera de los clientes y el tiempo perdido de los empleados?

SOLUCIÓN

- a. $Wq=0,0124$ minutos
- b. $\rho=0,6$
- c. $Wq=0,0874$ minutos
 $\rho=0,75$.

PROBLEMA 13

Los aviones llegan a la estación de combustible del aeropuerto Gran Canaria para repostar con un promedio de 6 minutos entre ellos. El objetivo

del director de operaciones es que ninguno de ellos esté más de 8 minutos en el sistema. ¿Con qué rapidez tiene que trabajar la estación de combustible para satisfacer este objetivo?

(Solución $\rightarrow \mu = 0,2916$ aviones/minuto = 17,5 aviones/hora)

X PROBLEMA 14

Una librería tiene actualmente un solo empleado para atender a los clientes, los cuales acuden con un ratio de 5 por hora y siguen una distribución de Poisson. El empleado tarda 6 minutos en atender al cliente, siguiendo el tiempo de servicio una distribución exponencial. El dueño de la librería está pensando añadir a otro empleado para realizar las mismas labores o bien contratar a un ayudante que se encargue de cobrar a los clientes, ya que en esta labor se pierde mucho tiempo. En este último caso se tardaría 4 minutos en atender al cliente. Plantee y resuelva los dos casos. Teniendo en cuenta todas las características operativas, ¿cuál de las dos opciones le recomendaría al dueño de la librería? Razone su respuesta.

SOLUCIÓN

0'5333

$M=2$; $P_0=0,6$; $L_s=5,3333$ clientes; $W_s=0,1066$ horas = 6,396 minutos; $L_q=0,0333$ clientes; $W_q=0,0066$ horas = 0,396 minutos = 23,76 segundos.

$M=1$; $P_0=0,6666$; $L_s=0,5$ clientes; $W_s=0,1$ horas = 6 minutos; $L_q=0,1666$ clientes; $W_q=0,3333$ horas = 2 minutos

X PROBLEMA 15

Una peluquería tiene tres peluqueros para atender a los clientes. Actualmente llegan 8 clientes en una hora y cada peluquero tarda 15 minutos en cortar el pelo a un cliente. Las llegadas parecen seguir una distribución Poisson y el tiempo de servicio una distribución exponencial negativa. Se pide:

- ¿Cuántas personas en promedio estarán esperando?
- ¿Cuánto tiempo promedio esperará el cliente antes de iniciar el servicio?
- ¿Cuál es el porcentaje de ocupación de cada uno de los peluqueros?
- Sabiendo que el coste de un peluquero es 2.000 u.m./hora y que el coste de espera de un cliente se estima en 1.800 u.m./hora, ¿cuál es el coste total?

- e. Suponga que llegan 10 clientes por hora, ¿qué efecto tendría en el porcentaje de tiempo que está ocupado cada peluquero?

SOLUCIÓN

- a. $Lq=0,8888$ clientes
 b. $Wq=0,1111$ horas
 c. $\rho=0,6666$
 d. Coste total= 7.599,84 u.m./b
 e. $\rho=0,8333$

PROBLEMA 16

Un profesor de Organización de la Producción es capaz de atender 5 tutorías en una hora, siguiendo este ratio una distribución exponencial negativa. Los alumnos que acuden a tutorías llegan al despacho con una media de 3 por hora, distribuyéndose según una función tipo Poisson. Lógicamente, el profesor atiende primero al primer alumno que llega, y éstos provienen de una población muy grande (casi infinita).

El director del departamento estima que el coste del tiempo de un alumno en el sistema, en términos de tiempo perdido en el que podría estar estudiando o asistiendo a otras clases, es de 400 u.m./hora. El principal coste del profesor es el salario, el cual asciende a 700 u.m./hora.

El director del departamento está pensando en disponer de una sala mayor para que dos profesores atiendan tutorías. Los alumnos, en este caso, esperarán en una línea simple hasta que uno de los dos profesores esté libre. Compare las dos opciones tanto desde el punto de vista de las características operativas como de los costes asociados, sabiendo que cada profesor atiende tutorías 6 horas a la semana.

SOLUCIÓN

Características y costes	Canal simple	Canal doble
P_0	0,4	0,5384
L_s	1,5 alumnos	0,6593 alumnos
W_s	0,5 horas= 30 minutos	0,2197 horas= 13,19 minutos
L_q	0,9 alumnos	0,0593 alumnos
W_q	0,3 horas= 18 minutos	0,0197 horas= 1,18 minutos
ρ	0,6	0,3
Coste total	1.300 u.m/hora	1.663,64 u.m/hora

PROBLEMA 17

ASPER, centro de rehabilitación situado estratégicamente en el centro de la ciudad, cuenta entre sus instalaciones con una sala de espera y dos cuartos totalmente equipados con el instrumental necesario para las sesiones de rehabilitación ofertadas por el centro. Dada la localización y la fama con la que cuenta ASPER, cada media hora llega un cliente solicitando sus servicios. Además se sabe que el único fisioterapeuta que ejerce en el centro, debido a la especialización en los servicios prestados por el mismo, tiene calculado que tarda veinte minutos en atender a un cliente. El fisioterapeuta y único dueño del negocio está pensando introducir algunos cambios, puesto que los clientes tienen que esperar mucho tiempo antes de ser atendidos. Se ha estimado que estar en cola supone un coste de 1.200 u.m. la hora. Así pues, y una vez consultado con algunos amigos concedores también del mercado, se plantea la posibilidad de contratar a una enfermera que prepare a los pacientes antes de que él los atienda, lo que supondría una reducción de cinco minutos en el tiempo empleado por el fisioterapeuta o bien admitir a un colega de profesión en el despacho para atender al mismo tiempo a dos clientes. Se pide respecto a las dos alternativas planteadas:

- a. Comparación e interpretación de los tiempos medios de espera en la cola y del número de clientes en la misma.
- b. Comparación e interpretación de los porcentajes de tiempo que el sistema está vacío.
- c. Comparación e interpretación de los factores de utilización de cada uno de los fisioterapeutas.
- d. Sabiendo que el coste de un fisioterapeuta está en torno a las 3.500 u.m./hora y el de una enfermera ayudante en 1.500 u.m./hora, calcule el coste para cada una de las opciones planteadas.
- e. Una vez realizado el análisis de las alternativas, ¿qué opción recomendaría? Justifique su respuesta tanto desde el punto de vista de las características económicas.

SOLUCIÓN *0,25 horas = 15 minutos.*

a. $W_q (M=1) = 38,02 \text{ minutos.}$

$W_q (M=2) = 2,49 \text{ minutos.}$

$L_q (M=1) = 1,26 \text{ clientes.}$

$L_q (M=2) = 0,083 \text{ clientes.}$

b. $P_0 (M=1) = 49,5\% \text{ sí.}$

$P_0 (M=2) = 50\%$

c. $\rho (M=1) = 50,45\% \text{ sí}$

$\rho (M=2) = 33,3\%$

$$d. \text{ Coste total } (M=1) = \overset{5000}{6.520,808} \text{ u.m/hora}$$

$$\text{Coste total } (M=2) = 7.099,6 \text{ u.m/hora}$$

e. Contratar a una enfermera

PROBLEMA 18

Un centro médico opera en la actualidad con dos médicos que atienden indistintamente a los pacientes que acuden a la consulta. Los pacientes llegan al centro médico con un ratio de 6 clientes por hora; estas llegadas se distribuyen siguiendo una Poisson. Se tarda por término medio 16 minutos en atender a cada paciente, siguiendo el tiempo de servicio una distribución exponencial. Se ha estimado que el coste que le supone a cada paciente una hora en el centro médico es de 2.500 u.m. El director del centro está pensando en la posibilidad de contratar otro médico o bien en la posibilidad de contratar a un ayudante para cada médico. En este último caso se tardaría 12 minutos en atender a cada paciente. Los costes por día (7 horas laborales) de cada médico y ayudante ascienden a 5.000 u.m. y 2.300 u.m., respectivamente. Se pide respecto a las dos alternativas planteadas:

- Comparación e interpretación de los tiempos medios de un paciente en el centro médico y el número medio de pacientes en el mismo.
- Comparación e interpretación de los porcentajes de tiempo que el centro está desocupado.
- Comparación e interpretación de los tiempos ociosos de cada médico.
- ¿Cuál de las dos alternativas planteadas recomendaría? Justifique su respuesta tanto desde el punto de vista de las características operativas del sistema como económicas.

SOLUCIÓN

$$a. W_s (M=2) = 0,3125 \text{ horas} = 18,72 \text{ min. } W_s (M=3) = 0,3188 \text{ horas} = 19,08 \text{ min.}$$

$$W_s (M=3) = 0,3188 \text{ horas} = 19,08 \text{ minutos.}$$

$$L_s (M=2) = 1,875 \text{ clientes.}$$

$$L_s (M=3) = 1,9125 \text{ clientes.}$$

$$b. P_0 (M=2) = 25\%$$

$$P_0 (M=3) = 18,71\%$$

$$c. \rho (M=2) = 40\%$$

$$\rho (M=3) = 46,7\%$$

$$d. \text{ Coste total } (M=2) = 47.412,5 \text{ u.m/hora. Coste total } (M=3) = 48.474 \text{ u.m/hora}$$

PROBLEMA 19

Un centro veterinario de la ciudad cuenta con dos veterinarios que atienden indistintamente a los clientes que acuden a consulta con sus mascotas. Los clientes llegan al centro en un ratio de 3 por hora y estas llegadas se distribuyen siguiendo una Poisson. Se tarda una media de 15 minutos en diagnosticar y aplicar el tratamiento adecuado, siguiendo el tiempo de servicio una distribución exponencial. También se ha estimado que el coste que supone una hora en cola asciende a 1.500 u.m. El nuevo encargado del centro está pensando eliminar a un veterinario, ya que considera que una persona puede soportar perfectamente la carga de las consultas, y así puede abaratar los costes de mano de obra que ascienden a 2.000 u.m. por hora. Se pide:

- Comparación e interpretación de los tiempos medios de espera en la cola y del número de clientes en la misma.
- Comparación e interpretación de los porcentajes de tiempo que el centro está vacío.
- Comparación e interpretación de los factores de utilización de los veterinarios.
- Eliminar a un veterinario, ¿supondría realmente un ahorro de costes?
- ¿Recomendaría la eliminación del veterinario? Justifique su respuesta tanto desde el punto de vista de las características económicas como operativas, si se desea que los clientes no esperen más de 15 minutos.

SOLUCIÓN

- $Wq (M=1) = 0,75 \text{ horas} = 45 \text{ minutos}$. $Wq (M=2) = 0,0409 \text{ horas} = 2,45 \text{ minutos}$
 $Lq (M=1) = 2,25 \text{ clientes}$. $Lq (M=2) = 0,1227 \text{ clientes}$.
- $P0 (M=1) = 25\%$ $P0 (M=2) = 45,45\%$
- $\rho (M=1) = 75\%$ $\rho (M=2) = 37,5\%$
- $\text{Coste total } (M=1) = 5.375 \text{ u.m./ hora}$. $\text{Coste total } (M=2) = 4.184,05 \text{ u.m./ hora}$
- No

$CT = \text{coste cliente} \times 5 + \text{coste espera} \cdot 500$
 $1500 \times 3 \times 0,75 + 2000$
 $CT = 1500 \times 3 \times 0,0409 + 2000$

PROBLEMA 20

Una oficina tiene dos administrativos dedicados a la atención de clientes, los cuales actualmente llegan en promedio de 2 por hora, tardando cada empleado 10 minutos por término medio en atender a cada cliente. Las llegadas parecen

seguir una distribución Poisson y el tiempo de servicio una distribución exponencial negativa. Calcule y comente:

- ¿Cuál es el tiempo ocioso de la oficina?
- ¿Cuántas personas en promedio estarán esperando en la cola?
- ¿Cuánto tiempo promedio esperará el cliente antes de iniciar el servicio?
- Sabiendo que el salario de un administrativo es de 20 u.m./hora y que el coste de un cliente por permanecer en la oficina se estima en 8 u.m./hora, ¿cuál es el coste total?
- Suponga que llegan 15 clientes por hora, ¿qué efecto tendría sobre la probabilidad de que la oficina esté vacía?

SOLUCIÓN

- $P_0 = 71,42\%$
- $L_q = 0,009$ clientes
- $W_q = 2,85$ minutos $0'28$
- Coste total = 42,73 u.m./hora
- $M \cdot \mu < \lambda$.

PROBLEMA 21

La cafetería de un centro universitario cuenta con tres camareros que atienden a los “desesperados” clientes que llegan a la misma en una media de 200 por hora. Sin embargo, el encargado considera que los costes que debe soportar son bastante elevados, más si se tiene en cuenta las restricciones de precios a las que debe ajustarse como consecuencia de la concesión de explotación de una cafetería escolar. Esta situación ha llevado al encargado a plantearse la reducción del personal que atiende al público, y quedarse únicamente con dos camareros, cada uno de los cuales es capaz de atender una media de 105 personas por hora. Se pide:

- En la situación inicial, ¿qué porcentaje de tiempo está ocioso cada camarero?
- Si se elimina a un camarero, ¿cuánto tiempo emplearía cada camarero en servir a un cliente?
- Si el encargado considera que el coste para los clientes es aproximadamente de 7 € por hora de permanencia en la cafetería y que el salario de cada camarero es de 10 € por hora, ¿se producirá un descenso de los costes

- totales con la decisión del encargado? Justifique numéricamente la respuesta.
- d. Si además se plantea como objetivo que un cliente no esté más de 5 minutos en la cafetería, ¿qué recomendaría?

SOLUCIÓN

- a. $1-\rho = 36,51\%$
- b. $1/\mu = 0,010 \text{ horas} = 0,6 \text{ minutos} = 36 \text{ segundos}$
- c. Coste total ($M=2$) = $163,36$ euros/hora Coste total ($M=3$) = $48,2$ euros/hora
- d. $Ws (M=2) = 0,1024 \text{ horas} = 6,144 \text{ minutos}$
 $Ws (M=3) = 0,013 \text{ horas} = 46,8 \text{ segundos}$

PROBLEMA 22

JCQ es un pequeño establecimiento que se dedica a la realización de trabajos de fotocopiado. En la actualidad se estima que cada ~~20~~²⁰ minutos llega un cliente al local. Su propietario, Antonio, quiere contratar a una persona para que se encargue de cobrar los trabajos, pues actualmente él es el único que atiende el establecimiento, siendo capaz de atender una media de 3 personas por hora. Antonio estima que de esta forma se tardaría un 40% menos en atender a cada cliente. Se pide:

- a. Si Antonio contrata a esa persona, ¿cuál sería la ocupación potencial del establecimiento?
- b. Si Antonio estima que el coste para los clientes es aproximadamente de 7 € por hora de espera en términos de tiempo perdido y que el salario de la persona a contratar es de 6,2 € por hora, ¿se producirá un incremento o un ahorro en los costes totales con la nueva contratación? Justifique numéricamente su respuesta.
- c. En la situación de partida ¿cuál es la probabilidad de que haya tres o más clientes esperando?
- d. ¿Qué le recomendaría a Antonio, teniendo en cuenta que uno de sus objetivos es que los clientes no estén más de 25 minutos en el establecimiento?

SOLUCIÓN

- a. $1-P_0 = 40\%$
- b. El coste de capacidad se incrementa en 6,2 euros/hora mientras que el de los clientes se reduce en 7,46 euros/hora, por lo que se produce un ahorro.
- c. 13,17%
- d. W_s (situación inicial) = 1 hora. W_s (situación propuesta) = 20 minutos.

PROBLEMA 23

Una oficina tiene dos administrativos dedicados a la atención de clientes, los cuales actualmente llegan en promedio de 2 por hora, tardando cada empleado 10 minutos por término medio en atender a cada cliente. Las llegadas parecen seguir una distribución Poisson y el tiempo de servicio una distribución exponencial negativa. Sin embargo, el jefe de administración, conforme al convenio de colaboración que tiene firmado con la Fundación Universitaria de Las Palmas, tiene que incorporar un alumno para la realización de prácticas empresariales, dedicándose a labores de apoyo para los empleados ya existentes. Por este motivo, y debido a que los empleados deben enseñar a su colaborador las labores que realizan, los administrativos atienden a los clientes de manera más lenta para que el alumno conozca bien las tareas y así pueda realizar las labores de apoyo sin consultar continuamente a sus compañeros. Este hecho hace que el tiempo que los empleados dedican a cada cliente sea de 15 minutos. Se pide:

- a. Comparación e interpretación del tiempo ocioso de cada administrativo.
- b. Sabiendo que el salario de un administrativo es de 20 u.m./hora y que la empresa está dispuesta a recompensar al alumno en prácticas en 9 u.m./hora, así como que el coste de un cliente por permanecer en la oficina se estima en 15 u.m./hora, ¿a qué cantidad ascienden los costes totales?
- c. Suponga que, una vez incorporado el becario, llegan 20 clientes por hora, ¿qué efecto tendría sobre la probabilidad de que la oficina esté vacía?

SOLUCIÓN

- a. $1-p$ (situación inicial) = ~~85%~~ 83,33%
 $1-p$ (situación propuesta) = 25% 75%
- b. Coste total (situación inicial) = 45,14 u.m/hora
Coste total (situación propuesta) = ~~64,53~~ 57 u.m/hora
- c. $M < \lambda$.

4

capítulo

La localización de las instalaciones

4. LA LOCALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES

1. Los factores ponderados
2. El método de transporte
3. El método heurístico de Ardalan
4. Problemas propuestos

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones y su localización están estrechamente relacionadas con las decisiones de capacidad presentadas en el capítulo anterior. Cuando se hace referencia a la localización empresarial no sólo se debe pensar en el emplazamiento de una empresa como un todo, sino en los posibles puntos de ubicación de las unidades que la componen (almacén, centro de distribución, punto de venta, etc.). Así pues, el problema de la localización de planta puede definirse como la determinación del lugar que, considerados todos los factores, minimiza los costes de producción y proporciona a su vez la máxima satisfacción a los posibles clientes.

El planteamiento en la selección de la localización varía tanto en la problemática como en el objetivo dependiendo de si la empresa es de servicio o de fabricación. Así, en las empresas productoras los problemas que se pueden plantear se relacionan, principalmente, con localizar la primera fábrica o almacén, o añadir una nueva fábrica o almacén al sistema de producción y distribución existente. Sin embargo, en las empresas de servicio es más común la localización de nuevos servicios, aunque también son frecuentes las decisiones de localizar instalaciones adicionales o sucursales por la necesidad de mantener una estrecha relación con los clientes. Consecuentemente la decisión de localización en las empresas de servicios está muy unida a la selección del mercado objetivo, y se fundamenta en la maximización del volumen potencial de ingresos. En cambio, en las empresas de fabricación la elección de la localización se plantea en términos de minimización de costes, ya que no es necesario un alto contacto con el cliente.

A la hora de decidir la localización más adecuada pueden emplearse diferentes métodos cuantitativos que ayudan a la toma de decisión, tales como el método de factores ponderados, el análisis del punto muerto de localización,

el método del centro de gravedad, la programación lineal, o el método heurístico de Ardalán. Este capítulo se dedica a la explicación de alguno de ellos.

OBJETIVOS

- Reconocer la importancia de la localización de las instalaciones para el logro de los objetivos corporativos.
- Diferenciar los criterios de selección en función del tipo de organización.
- Utilizar métodos cuantitativos que faciliten la toma de decisiones de localización.
- Identificar la adecuación de una técnica a una problemática concreta de localización.

1. LOS FACTORES PONDERADOS

Este método consiste en ponderar cada uno de los factores de localización según su importancia relativa, si es que existe, y puntuar las posibles localizaciones, eligiendo aquella que proporcione el mayor valor.

EJEMPLO DE LOCALIZACIÓN SEGÚN FACTORES PONDERADOS

Una empresa se encuentra inmersa en un proceso expansivo fruto del incremento de la demanda, lo que le ha obligado a abrir una nueva planta de producción, debatiéndose entre dos posibles ubicaciones. Ambas alternativas se someten a un análisis de expertos con el fin de determinar las valoraciones que éstos tienen respecto a diversos factores para cada una de las propuestas, obteniéndose los datos que se recogen en la siguiente tabla.

Factores	Ponderación	Alternativa A	Alternativa B
Productividad mano de obra	0,12	7	8
Distancia clientes	0,16	8	4
Ayudas gubernamentales	0,15	7	6
Inestabilidad política, social y económica	0,20	8	5
Servicios e infraestructuras	0,12	7	5
Reglamentación medioambiental	0,25	4	6

Determine la localización de la nueva planta mediante el método de los factores ponderados.

SOLUCIÓN

Para obtener la puntuación global de cada alternativa es preciso, siguiendo el método de los factores ponderados, que éstas sean evaluadas en función de su comportamiento en los distintos factores definidos y la ponderación de cada uno, lo que implica que cada puntuación sea multiplicada por la ponderación.

Factores	Ponderación	Alternativa A	Alternativa B
Productividad mano de obra	0,12	$7 \times 0,12 = 0,84$	$8 \times 0,12 = 0,96$
Distancia clientes	0,16	$8 \times 0,16 = 1,28$	$4 \times 0,16 = 0,64$
Ayudas gubernamentales	0,15	$7 \times 0,15 = 1,05$	$6 \times 0,15 = 0,9$
Inestabilidad política, social y económica	0,20	$8 \times 0,20 = 1,6$	$5 \times 0,20 = 1$
Servicios e infraestructuras	0,12	$7 \times 0,12 = 0,84$	$5 \times 0,12 = 0,6$
Reglamentación medioambiental	0,25	$4 \times 0,25 = 1$	$6 \times 0,25 = 1,5$
Totales	1	6,61	5,6

Por tanto, la alternativa más adecuada es A.

2. EL MÉTODO DE TRANSPORTE

El problema de la localización puede formularse como un problema de programación lineal donde se minimizan los costes de transportes, sujeto a la satisfacción de las necesidades de la demanda y a la disponibilidad de la oferta. En definitiva, el modelo de transporte es una variación del modelo estándar de programación lineal.

Aunque existen diferentes opciones para calcular las soluciones básicas y óptimas en la resolución de transportes, se ha optado por aplicar el método de aproximación de Vogel para obtener la solución inicial, porque ofrece una solución básica que se aproxima bastante a la solución óptima, y para esta última, el método de los rendimientos marginales. En la práctica, existen diferentes programas de ordenador que resuelven los problemas de transportes aplicando los diferentes métodos. Hay que tener claro que, cualquiera que sea el método utilizado, la solución óptima tiene que tener el mismo coste, aunque no la misma asignación.

Así pues, el planteamiento de un problema de transportes se representa en una tabla de doble entrada, como la que se muestra en la figura 1, y en la que se recogen m centros de producción, $i = \{1, 2, \dots, m\}$ y n centros de consumo, $j = \{1, 2, \dots, n\}$ y donde:

- O_i → ofertas o producciones de cada uno de los m centros de producción.
- D_j → demandas de cada uno de los n centros de consumo.
- X_{ij} → la cantidad de producto obtenida en el centro de producción i y consumida en el centro de consumo j .
- C_{ij} → costes directos de transportar una unidad de producto desde el centro de producción i al centro de consumo j .

Figura 1. Tabla inicial de los problemas de transporte

\mathcal{N}	Destino 1	Destino 2	...	Destino n	Disponibilidad
Origen 1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}		C_{1n} X_{1n}	O_1
Origen 2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}		C_{2n} X_{2n}	O_2
Origen m	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}		C_{mn} X_{mn}	O_m
Necesidades	D_1	D_2		D_n	$D_t=O_t$

EJEMPLO DE LOCALIZACIÓN APLICANDO EL MÉTODO DE TRANSPORTE

Una empresa tiene que transportar mercancías de las tres fábricas (F_1, F_2 y F_3), a los cuatro centros de consumo o almacenes (A_1, A_2, A_3 y A_4). Los costes directos de transportes de cada una de las rutas, así como las necesidades de producción y las demandas de cada almacén se representan en la siguiente tabla.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disponibilidad
Fábrica 1	2	2	0	4	25
Fábrica 2	5	9	8	3	25
Fábrica 3	6	4	3	2	10
Demanda	20	15	20	5	60

SOLUCIÓN

Los pasos a seguir para la resolución del problema son los siguientes:

1. **Comprobar si la demanda total es igual a la oferta total.** Como se puede ver las cantidades producidas por las fábricas (O_t) suman 60, igual que las cantidades demandadas por los almacenes (D_t). Si $O_t > D_t$ se producirá un exceso de oferta, por lo que para la resolución del problema será necesario introducir una demanda ficticia, mientras que si $O_t < D_t$ hay que añadir una oferta ficticia, lo que implica que los centros de consumo no podrán ser servidos en su totalidad.
2. **Ver si existe alguna ruta imposible.** Se consideran rutas imposibles aquéllas que, por cualquier motivo, no puedan ser accesibles. En nuestro ejemplo no se especifica ninguna, sin embargo pueden darse causas relacionadas con rutas impracticables por lluvias, roturas, caminos estrechos, etc., o bien por restricciones que la propia empresa pueda imponer y que se relacionan con que un centro de producción trabaje al 100% de su capacidad o que un centro de demanda deba ser satisfecho en su totalidad. En estos casos, para “anular” las casillas correspondientes y evitar que se envíen productos por las mismas, se introduce un coste directo M que simboliza el coste mayor de toda la tabla.
3. **Obtener la solución inicial o básica.** Para obtener la primera solución se va a utilizar el método de aproximación de Vogel, que consiste en determinar las diferencias entre los costes directos (C_{ij}) más pequeños para cada fila y para cada columna. Este método tiene diversas etapas:
 - Determinar las primeras diferencias. Partiendo de la tabla anterior, se pueden calcular las diferencias entre los costes directos de cada fila y de cada columna. Así, por ejemplo, en la primera fila, los menores costes directos corresponden a las casillas (1,1) ó (1,2) y (1,3), siendo respectivamente 2 y 0, por lo que la diferencia es 2 (en valor absoluto). Del mismo modo, en la segunda fila podemos hacer las diferencias entre 3 y 5 que corresponden a los menores costes de las casillas (2,1) y (2,4). En el caso de las columnas, el procedimiento es el mismo. La diferencia entre los menores costes de las casillas de la primera columna es 3, ya que corresponde a los costes 2 y 5 de las casillas (1,1) y (2,1). Siguiendo este método se tienen las primeras diferencias representadas en la tabla.



	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp	Dif ₁
Fábrica 1	2	2	0	4	25	2
Fábrica 2	5	9	8	3	25	2
Fábrica 3	6	4	3	2	10	1
Demanda	20	15	20	5	60	
Dif ₁	3	2	3	1		

- Seleccionar la mayor diferencia, la cual corresponderá a una fila o columna, y entonces se asigna la mayor cantidad posible a la casilla de menor coste de esa fila o columna. Si existe más de una casilla dentro de esa fila o columna con el menor coste se asigna indistintamente a una o a otra. En este caso la mayor diferencia corresponde al 3, que pertenece tanto a la columna 1 como a la 3, pudiéndose asignar en cualquiera de las dos. Se selecciona, de forma aleatoria, la columna 3. La cantidad se asignará a la casilla de menor coste, en este caso, la de coste 0. La mayor cantidad que se puede asignar es 20, ya que la demanda de A₃ es 20, y la oferta de F₁ es 25. Entonces se tacha la columna saturada, y se vuelven a calcular las diferencias sin tener en cuenta la columna eliminada.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp	Dif ₁	Dif ₂
Fábrica 1	2	2	0	4	25	2	0
Fábrica 2	5	9	8	3	25	2	2
Fábrica 3	6	4	3	2	10	1	2
Demanda	20	15	20	5	60		
Dif ₁	3	2	3	1			
Dif ₂	3	2		1			

- El proceso se repite hasta que no se puedan calcular más diferencias. Para la segunda asignación, la mayor diferencia vuelve a ser 3, que corresponde a la columna 1. Se asigna a la casilla de menor coste de esa columna, casilla (1,1), la mayor cantidad posible. En este caso la mayor cantidad posible es 5, porque la fábrica 1 ya ha transportado 20 al almacén 2, y por tanto, sólo le quedan 5. Con esta asignación se elimina la fila 1, ya que está totalmente cubierta con las dos asignaciones. Se vuelven a calcular las diferencias, y el proceso se repite hasta que no sea posible calcular diferencias en fila o en columna y, por tanto, se asignen las cantidades pendientes para que estén cubiertas las filas y columnas, es decir, estén la demanda y la oferta saturadas.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp	Dif ₁	Dif ₂	Dif ₃
Fábrica 1	2 5	2	0	4	25	2	0	
Fábrica 2		9	8	3	25	2	2	2
Fábrica 3		4	3	2	10	1	2	2
Demanda	20	15	20	5	60			
Dif ₁	3	2	3	1				
Dif ₂	3	2		1				
Dif ₃	1	5		1				

	Almacén1	Almacén2	Almacén 3	Almacén 4	Disp	Dif ₁	Dif ₂	Dif ₃	Dif ₄
Fábrica 1	2 5	2	0 20	4	25	2	0		
Fábrica 2	5	9	8	3	25	2	2	2	2
Fábrica 3	6	4 10	3	2	10	1	2	2	
Demanda	20	15	20	5	60				
Dif ₁	3	2	3	1					
Dif ₂	3	2		1					
Dif ₃	1	5		1					
Dif ₄	---	---		---					

m + n - 1 = 3 + 4 - 1 = 6

<i>m</i>	Almacén1	Almacén2	Almacén 3	Almacén 4	Disp	Dif ₁	Dif ₂	Dif ₃	Dif ₄
Fábrica 1	2 5	2	0 20	4	25	2	0		
Fábrica 2	5 15	9 5	8	3 5	25	2	2	2	2
Fábrica 3	6	4 10	3	2	10	1	2	2	
Demanda	20	15	20	5	60				
Dif ₁	3	2	3	1					
Dif ₂	3	2		1					
Dif ₃	1	5		1					
Dif ₄	---	---		---					

- Se comprueba si el número de casillas asignadas es igual a $m+n-1$. De no ser así se puede estar ante una solución degenerada o haber cometido algún error en las asignaciones dejando alguna fila o columna no saturada. La regla general es:

Si $m+n-1 > n^{\circ}$ rutas asignadas \rightarrow Solución degenerada.

Si $m+n-1 < n^{\circ}$ rutas asignadas \rightarrow Existe algún error en la asignación

En el presente ejemplo:

$$n^{\circ} \text{ de casillas asignadas} = 6; m+n-1 \stackrel{!}{=} 3+4-1 = 6.$$

Por lo tanto no es una solución degenerada, con lo que se puede seguir el problema sin hacer ninguna modificación y calcular el coste total de transporte de la solución básica.

– Se calcula el coste total de la solución básica $\rightarrow C_T = 5 \cdot 2 + 20 \cdot 0 + 15 \cdot 5 + 5 \cdot 9 + 5 \cdot 3 + 10 \cdot 4 = 185$ u.m.

4. Obtener la solución óptima. Para obtener la solución óptima, a partir de la solución básica que se acaba de calcular, se utiliza el método de los rendimientos marginales, que se basa en que la diferencia entre los costes indirectos de dos filas o dos columnas paralelas es constante. Además, hay que tener en cuenta que los rendimientos marginales de las casillas asignadas son nulos. Para poder empezar es necesario completar la tabla anterior con la información actual, es decir, en la esquina inferior derecha de cada casilla se sitúan los rendimientos marginales (W_{ij}) de cada ruta. Se comienza por las casillas asignadas, poniendo $W_{ij}=0$, lo que supone que los costes directos (C_{ij}) son iguales a los costes indirectos (Z_{ij}), ya que W_{ij} se calcula como diferencia de $C_{ij} - Z_{ij}$.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 5 0	2 0	0 0 0	4 0	25
Fábrica 2	5 15 0	9 5 0	8 0	3 5 0	25
Fábrica 3	6 0	4 10 0	3 0	2 0	10
Demanda	20	15	20	5	60

– Calcular el resto de costes indirectos y rendimientos marginales. Para ello se aplica la regla de que la diferencia entre los costes indirectos de dos filas o dos columnas paralelas debe permanecer constante. Como se puede observar, la diferencia de los costes indirectos de las casillas (1,1) y (2,1) es 3, por lo que la diferencia entre los costes indirectos de las casillas paralelas correspondientes a las filas 1 y 2 también debe ser 3. Si en la casilla (2,2) el coste indirecto es de 9, en la casilla (1,2) el coste indirecto debe ser 6 para que se mantenga constante la diferencia de 3. Lo mismo ocurre con la casilla (2,3), en la que hay que poner un 3 para que la diferencia sea constante, ya que la casilla (1,3) presenta un coste indirecto de 0.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 5 0	2 6 0	0 20 0	4 0 0	25
Fábrica 2	5 15 0	9 5 0	9 8 3	3 3 0	25
Fábrica 3	6 0 0	4 10 0	4 3 0	2 0 0	10
Demanda	20	15	20	5	60

Continuando con la misma regla, se observa que la diferencia entre las casillas (2,1) y (2,2) es 4, por lo que las casillas paralelas de las columnas 1 y 2 tienen que mantener esta diferencia. Esto hace que en la casilla (1,2) se ponga un 6, mientras que en la casilla (3,1) se debe poner un 0. Este proceso se repite hasta calcular todos los costes indirectos. Y después se calculan los rendimientos marginales como diferencia entre los costes directos e indirectos.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 5 2	2 6	0 0 20	4 0	0 25
Fábrica 2	5 15 5	9 5 9	8 3 -5	3 3 5	3 25
Fábrica 3	6 0	4 4 10	3 -2	2 -2	10
Demanda	20	15	20	5	60

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 5 2	2 6 -4	0 0 20	4 0	0 4 25
Fábrica 2	5 15 5	9 5 9	8 3 5	3 3 5	3 0 25
Fábrica 3	6 0 6	4 4 10	3 -2 5	2 -2 4	10
Demanda	20	15	20	5	60

- Comprobar si esta solución es óptima. Cuando se minimizan los costes, todos los rendimientos marginales deben ser positivos o nulos, ya que si existe alguno negativo significa que es posible ahorrar unidades monetarias, y que no se ha llegado a la solución óptima. En este caso, la casilla (1,2) tiene un rendimiento marginal de -4, lo que supone que es posible ahorrar 4 unidades monetarias por cada unidad que se asigne a esta casilla.
- Obtener una solución mejor y cuantificarla. Se debe determinar la cantidad a asignar a la casilla (1,2) que es en la que se puede ahorrar costes. Esta cantidad se denota θ , y se empiezan a cuadrar las asignaciones para seguir cumpliendo con las restricciones de demanda y oferta.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 2 5 - θ	2 6 θ	0 0 20	4 0	25
Fábrica 2	5 5 15 + θ	9 9 5 - θ	8 3	3 3 5	25
Fábrica 3	6 0	4 4 10	3 -2	2 -2	10
Demanda	20	15	20	5	60

– Obtener el valor de θ. Para calcular este valor, se igualan a cero todas las casillas en las que haya θ, se resuelven las ecuaciones, y se elige el menor valor de θ de entre los positivos.

$$5 - \theta = 0 \rightarrow \theta = 5$$

$$15 + \theta = 0 \rightarrow \theta = -15$$

Por lo tanto, el valor de θ es 5, ya que es el menor positivo.

– Obtener la nueva solución y comprobar si es óptima. Una vez sustituido θ por su valor (5), se comprueba, al igual que antes, por el método de los rendimientos marginales ($W_{ij} \geq 0$), si la nueva solución es óptima.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 2	2 6 5	0 0 20	4	25
Fábrica 2	5 5 20	9 9	8 3	3 3 5	25
Fábrica 3	6 0	4 4 10	3 2	2	10
Demanda	20	15	20	5	60

Ya no se pueden calcular más rendimientos marginales, por lo que se debe comprobar si se está ante una solución degenerada. Recuerde que $m+n-1$ tiene que ser igual al número de casillas asignadas. En este caso el número de casillas es 5, y $m+n-1$ es 6, por lo que se trata de solución degenerada.

- Resolver la solución degenerada. Para resolver la degeneración se asigna ζ en una ruta de las que no están ocupadas y cuando no sea posible seguir calculando ningún rendimiento marginal. En la solución óptima $\zeta = 0$. De todas las rutas posibles, se escoge la de menor coste directo, ya que se trata de minimizar los costes, en la que no se haya podido calcular el coste indirecto (Z_{ij}); en este caso puede asignarse tanto en la casilla (1,1) como en la (3,4), siendo indiferente la elección.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 5	2 5	0 20	4 3	25
Fábrica 2	5 20	9 5	8 3	3 3	25
Fábrica 3	6 4	4 10	3 2	2 2	10
Demanda	20	15	20	5	60

Como esta casilla está asignada, su rendimiento marginal es nulo y se puede calcular el resto de los W_{ij} , que antes no se podían obtener, y comprobar si la solución es óptima. Como todos los rendimientos marginales son positivos o nulos se ha llegado a la solución óptima, cuyo coste total es $C_T = 20 \cdot 5 + 5 \cdot 2 + 10 \cdot 4 + 20 \cdot 0 + 3 \cdot 5 = 165$ u.m. y donde $\zeta = 0$. Así pues, el plan de envío que minimiza los costes totales de transporte se traduce en que la fábrica 1 envía 5 unidades al almacén 2 y 20 unidades al almacén 3; la fábrica 2 envía 20 unidades al almacén 1 y 5 al almacén 4, mientras que la producción de la fábrica 3 se envía en su totalidad al almacén 2. De esta manera, las fábricas cubren sus disponibilidades y los almacenes tienen totalmente satisfechas sus demandas.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén 4	Disp
Fábrica 1	2 2 0	2 2 5 0	0 0 -2 20 0	4 0 4	25
Fábrica 2	5 5 20 0	9 5 4	8 3 5	3 3 5	25
Fábrica 3	6 4 2	4 4 10 0	3 2 1	2 2 0 5 2	10
Demanda	20	15	20	5	60

EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE TRANSPORTE CUANDO $O_T \neq D_T$ Y EXISTEN RUTAS IMPOSIBLES

Las fábricas F_1 y F_2 de la empresa PERITA, S.A. suministran un producto a los almacenes distribuidores A_1 , A_2 y A_3 de la misma empresa. Las capacidades máximas de fabricación de F_1 y F_2 son, respectivamente, de 400.000 y 250.000 unidades, y las necesidades de los almacenes receptores ascienden, respectivamente, a 100.000, 150.000 y 300.000 unidades. Dada la escasa producción de la fábrica 2, la empresa decide que ésta debe trabajar al 100% de su capacidad y, además se sabe que las rutas que unen esta fábrica con el almacén 3 son inviables ya que no pueden pasar los camiones.

Los productos se transportan en cajas de 100 unidades y los costes originados por el traslado de una caja pueden considerarse proporcionales a las distancias entre los puntos de origen y los destinos, los cuales aparecen en la tabla siguiente, expresados en u.m. por caja.

	A_1	A_2	A_3
F_1	10	30	20
F_2	5	15	---

De acuerdo con la información anterior se desea conocer la distribución óptima que minimice los costes de transportes.

SOLUCIÓN

Siguiendo los pasos descritos en el ejemplo anterior, se ha de crear un almacén ficticio, ya que $O_t > D_t$. Las restricciones del enunciado afectan a los costes directos, de tal manera que la que se refiere a que la fábrica 2 debe trabajar al 100% de su capacidad implica que toda su producción debe ser enviada a almacenes reales, "anulándose" la casilla fábrica 2- almacén ficticio. Del mismo modo, la ruta fábrica 2-almacén 3 es inviable. En ambos casos, en los costes directos de transporte se pone M, indicativo de costes elevados.

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Almacén FICTICIO	Disp
Fábrica 1	10	30	20	0	4000
Fábrica 2	5	15	M	M	2500
Demanda	1000	1500	3000	1000	6500

Una vez planteado el problema de transporte, se procede a calcular la solución inicial o básica.

	Almacén1	Almacén2	Almacén3	Almacén FICTICIO	Disp	Dif ₁	Dif ₂
Fábrica 1	10	30	20	0	4000	10	10
Fábrica 2	5	15	M	M	2500	10	10
Demanda	1000	1500	3000	1000	6500		
Dif ₁	5	15	M-20	M			
Dif ₂	5	15	M-20				

Si $m+n-1 > n^\circ$ rutas asignadas \rightarrow Solución degenerada.

$m+n-1 = 2+4-1 = 5$; n° de casillas asignadas = 4 \rightarrow Se asigna ζ

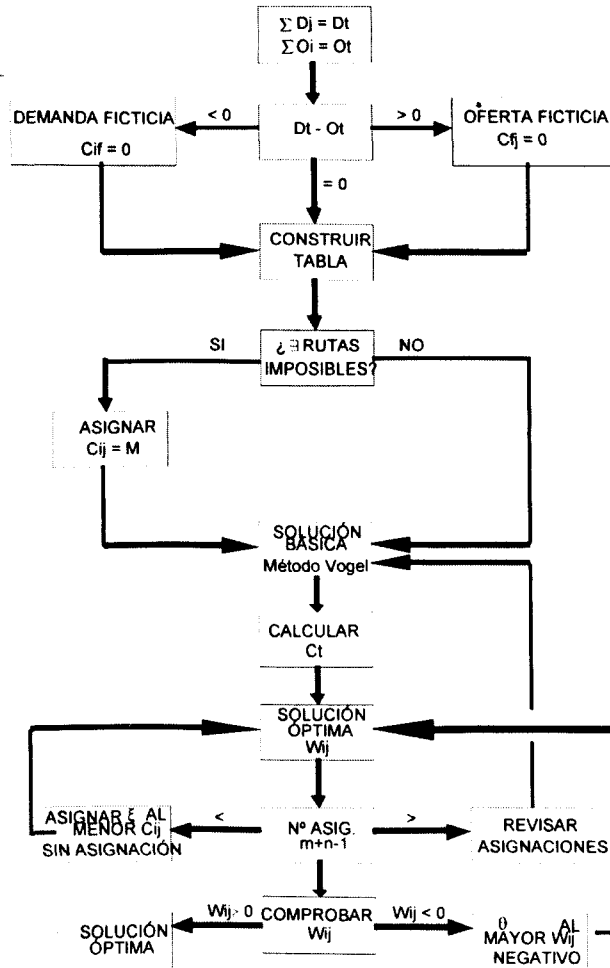
	Almacén1	Almacén2	Almacén3	Almacén FICTICIO	Disp
Fábrica 1	10 10 ζ	30 20 -5	20 20 3000	0 0 1000	4000
Fábrica 2	5 5 1000	15 15 1500	M 15 M-15	M -5 M+5	2500
Demanda	1000	1500	3000	1000	6500

Como todos los rendimientos marginales son positivos o nulos ($W_{ij} \geq 0$) se ha llegado a la solución óptima, aquella en la que la fábrica 1 envía 3.000 cajas al almacén 3, teniendo un *stock* en sus almacenes de 1.000, si había optado por la producción de dichas unidades; mientras que la fábrica 2 distribuye su producción entre los almacenes 1, con 1.000 cajas, y el 2, con 1.500 cajas, cumpliendo así las restricciones expuestas en el enunciado. Esta distribución supone un coste total mínimo de transporte de 87.500 u.m.

ESQUEMA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE TRANSPORTE

A continuación se muestra un esquema-resumen de los diferentes pasos que se deben dar para resolver un problema de transporte. Este esquema puede servir de guía para las diferentes problemáticas que se han explicado con los ejemplos prácticos, y para los problemas propuestos.

Figura 2. Esquema para la resolución de problemas de transporte



3. EL MÉTODO HEURÍSTICO DE ARDALAN

Mientras que la principal preocupación en el análisis de la localización en el sector industrial es la minimización de costes, en el sector servicios es la maximización de los ingresos. Esta diferencia estriba principalmente en que los costes de fabricación tienden a variar considerablemente entre distintas localizaciones, mientras que en empresas de servicios no se producen tales variaciones dentro de un área de mercado determinada. Por tanto, para una

empresa de servicios, una localización concreta influye en los ingresos más que en los costes, por lo que la localización estará dominada por el volumen de negocio y los ingresos potenciales de la zona. Un modelo de búsqueda de las posibles localizaciones factibles en las que se puede ubicar una organización de servicios, aplicando un método heurístico, es el descrito por Alireza Ardalan.

EJEMPLO DEL MÉTODO HEURÍSTICO DE ARDALAN PARA LA LOCALIZACIÓN DE SERVICIOS

Se desean localizar dos clínicas para procurar asistencia médica a la población de la isla de Gran Canaria. Asumiendo que los terrenos están disponibles y que la población de las zonas está distribuida de forma constante dentro de su área geográfica, se recoge el número potencial de pacientes en cada zona, así como las distancias (expresadas en km.) y un factor de ponderación que refleja la importancia relativa de servir a los miembros de cada zona (en función de intereses políticos, de la mayor necesidad de asistencia, etc.). Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

		Distancias a recorrer si la clínica se situara en				Población de la comunidad	Factor ponderación
Desde \ A		A	B	C	D		
A		0	11	8	12	10.000	1,1
B		11	0	10	7	8.000	1,4
C		8	10	0	9	20.000	0,7
D		9,5	7	9	0	12.000	1,0

El objetivo de este problema es hallar la localización de las dos clínicas que puedan servir a las cuatro zonas con menor coste ponderado de distancia de viaje para los clientes. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1º Paso: construir con los datos iniciales una tabla de distancia-población-ponderada, multiplicando las distancias por la población y el factor de ponderación. Así, de la comunidad A a la B, se trasladarían 10.000 personas a una distancia de 11 kilómetros, y la importancia relativa de esta

población es de 1,1 puntos → de la comunidad A a B: $11 \times 10.000 \times 1,1 = 121.000$.

Operando del mismo modo, obtendríamos la matriz población ponderada (en miles):

Desde \ A	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

2º Paso: calcular el coste que le supone a las distintas poblaciones trasladarse si la clínica se localizara en una ubicación concreta (A, B, C o D), por lo que se suman las cantidades de cada columna y se elige la ubicación con el coste distancia-población-ponderada más bajo. En este caso, se localiza una clínica en C, ya que esta localización representa los costes de viaje más bajo desde todas las comunidades.

Desde \ A	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
Total	Σ 349,2	Σ 345	Σ 308	Σ 336,4

3º Paso: hallar la matriz coste-ajustada en la que para cada fila se compara el coste de cada entrada con el coste de la entrada de la comunidad ya seleccionada. Si el coste es menor, no se cambia, pero si el coste es mayor, se debe sustituir el coste de dicha entrada por el coste de la entrada de la comunidad ya seleccionada.

Ello es así porque una vez que se elige una localización ningún miembro racional de la comunidad viajaría a cualquier otra comunidad que fuera más costosa. Por ejemplo, en nuestro caso los residentes de la comunidad A preferirían ir a la clínica ya localizada en la comunidad C (88) que ir a B (121) o a D (132). Por lo que la distancia-población-ponderada de los residentes en A es 88. En cambio si la clínica estuviera localizada en A, los residentes en A utilizarían su propia clínica (0). Los residentes en la comunidad B preferirían C (112) a A (123,22) pero no a B (0) o a D (78,4). Por lo tanto, el coste de 123,2 es reducido a 112, pero 0 y 78,4 permanecen.

Desde \ A	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

Una vez que la localización de la primera clínica es seleccionada y se ha obtenido la matriz coste-ajustada, la zona ya elegida puede ser eliminada (en este caso la columna C), ya que los costes de esa columna dejan de ser relevantes.

4º Paso: si se desea localizar otra clínica adicional, se vuelve a sumar las columnas y se elige la de menor coste, en nuestro caso D.

Desde \ A	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
Total	220	172		166,4

5º Paso: Si se quiere localizar una tercera clínica se procede del mismo modo, calculando la matriz coste-ajustada, comparándola con la última selección, en este caso con D. Si existieran cuatro posibles clínicas se localizarían en el siguiente orden: C primero, luego D, A y por último B.

4. PROBLEMAS PROPUESTOS

PROBLEMA 1

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria está planteándose la localización de nuevas instalaciones deportivas que permitan a sus alumnos la práctica de diversos deportes. Sin embargo, y dado que posee campus en diferentes zonas de la ciudad, duda en dónde situar las instalaciones. Actualmente existen tres posibles alternativas que corresponden con la ubicación de alguno de sus campus: Tafira, Obelisco y San Cristóbal. La información de la que dispone se muestra en la tabla siguiente.

Factores	Ponderación	Tafira	Obelisco	La Granja
Población de la zona	0,10	5	8	7
Alumnos potenciales	0,30	9	5	4
Facilidad de acceso	0,10	7	2	3
Tamaño del solar	0,20	9	2	5
Propiedad del solar	0,30	2	5	8

Determine la localización de la instalación mediante el método de los factores ponderados.

(Solución → Tafira)

PROBLEMA 2

La expansión de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria obliga al consistorio capitalino a plantearse la ubicación de nuevos aparcamientos de uso público, aunque las opciones que se barajan han ocasionado algunos problemas dentro del Ayuntamiento. Las alternativas propuestas son evaluadas por un grupo de expertos en función de los tres factores que han considerados prioritarios, mostrándose los datos en la siguiente tabla.

Factores	Ponderación	Alternativa A	Alternativa B
Problemas de estacionamiento	0,50	9	7
Cercanía a núcleos comerciales	0,30	8	8
Aceptación de los ciudadanos	0,20	5	8

Determine la localización del aparcamiento mediante el método de los factores ponderados.

(Solución → Alternativa A)

PROBLEMA 3

La ubicación del hospital central de una comunidad autónoma fue sometida a un análisis de expertos, decantándose por localizarlo en la zona B. Los datos en los que se basaron para tal determinación se recogen en la tabla siguiente. ¿Considera correcta tal decisión si el método utilizado para la localización es el de los factores ponderados?

Factores	Ponderación	Zona A	Zona B	Zona C
Infraestructuras de transportes	0,20	5	7	8
Infraestructuras de comunicación	0,10	5	4	3
Coste del terreno	0,40	8	3	5
Coste de mano de obra	0,10	8	7	8
Tendencia política	0,20	2	4	8

(Solución → Zona C)

PROBLEMA 4

Un empresario quiere localizar una importante sucursal de una franquicia, pero las exigencias de ésta dependen de la zona en la que se ubique la tienda. Las posibles alternativas que baraja el empresario y que ha puesto en común con su socio antes de tomar una decisión, son las que se muestran en la siguiente tabla.

Factores	Alternativa A	Alternativa B
Coste de instalación	8	7
Cercanía a núcleos comerciales	5	7
Gastos de publicidad	6	2

Determine la localización del local mediante el método de los factores ponderados.

(Solución → Alternativa A)

PROBLEMA 5

Una constructora quiere promover viviendas en las zonas de expansión de la ciudad, siendo tres las posibles localizaciones de las mismas. Las valoraciones de dichas zonas teniendo en cuenta los factores considerados relevantes para la empresa son las que se muestran en la tabla siguiente. ¿Qué zona le recomendaría si toma la decisión aplicando el método de los factores ponderados?

Factores	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Disponibilidad de solar	5	6	3
Expectativas de población	6	5	8
Coste de construcción	8	7	6
Disponibilidad de infraestructuras básicas	5	6	4

(Solución → Alternativa A o B, indiferente)

PROBLEMA 6

Una empresa dispone de tres almacenes, A_1 , A_2 , y A_3 , cuyas capacidades mensuales ascienden, respectivamente, a 3.000, 4.000 y 5.000 unidades y que distribuye a tres mercados, M_1 , M_2 y M_3 , que requieren 4.000 unidades cada uno. Debido a que las distancias existentes varían, los costes de transporte por unidad de producto también son diferentes. Estos costes se relacionan en la siguiente tabla, expresados en u.m./unidades:

	M_1	M_2	M_3
A_1	5	5	3
A_2	2	5	4
A_3	5	4	3

3000
4000
5000
12000

Se desea conocer el programa óptimo de distribución que minimiza los costes totales de transporte.

(Solución $\rightarrow Ct = 36.000$ u.m.)

PROBLEMA 7

Las ciudades de Barcelona, Madrid, Valencia y Sevilla cuentan cada una con un acuario, abastecido por la empresa ACUARIO, S.A. que dispone de cuatro piscifactorías. La demanda de los acuarios localizados en Barcelona, Madrid, Valencia y Sevilla es de 15.000, 10.000, 45.000 y 25.000 peces, respectivamente y la capacidad de producción de cada una de las factorías de peces es de 10.000, 35.000, 25.000 y 25.000 peces, respectivamente.

Asimismo se sabe que los costes de transporte desde las diferentes piscifactorías a los distintos acuarios varían considerablemente. El traslado de un pez de cada una de las piscifactorías hasta Barcelona supone un coste de 2, 0, 10 y 5 u.m. por unidad, respectivamente; sin embargo, los costes unitarios en los que se incurre por el traslado de un pez de cada piscifactoría hasta Madrid son de 3, 11, 20 y 7 u.m., respectivamente. Si el recorrido es hasta Valencia, dichos costes unitarios ascenderán a 2, 12, 30 y 7 u.m., respectivamente. Por último, el transporte de los peces hasta Sevilla supone unos costes unitarios de 5, 17, 40 y 11 u.m. respectivamente.

Plantee, resuelva e interprete el problema de transporte asociado a la problemática expuesta.

(Solución $\rightarrow Ct = 1.055.000$ u.m.)

✓ PROBLEMA 8

FIDE, S.L. se encarga de la distribución en la provincia de Las Palmas de un producto de limpieza de uso doméstico, disponiendo a tal efecto de dos almacenes situados en Telde y en Arrecife y cuyas capacidades respectivas son de 100 y 80 cajas semanales. Dichos centros de distribución se ocupan del suministro de tres puntos de venta, cada uno de los cuales demanda semanalmente 70, 90 y 90 cajas respectivamente. Los costes de transporte entre los almacenes y los puntos de venta dependen de la distancia entre los mismos, siendo los que a continuación se detallan en la tabla, expresados en u.m. por caja.

	P1	P2	P3
Telde	6	7	5
Arrecife	6	3	4

Capacidad

Demanda

Teniendo en cuenta que en cualquier caso la demanda del tercer punto de venta debe satisfacerse al 100%, pues no dispone de otro almacén que le suministre en caso necesario, comente un plan de envío que permita minimizar los costes totales de transporte.

(Solución $\rightarrow Ct = 750$ u.m.)

PROBLEMA 9

Una empresa dedicada a la distribución de un producto tiene dos almacenes cuyas capacidades semanales son de 50 y 60 unidades, respectivamente. Con estos dos centros, la empresa debe abastecer a tres zonas de esta ciudad que demandan respectivamente 30, 30 y 70 unidades semanales. Sin embargo, dadas las características socioeconómicas de la zona 2, ésta debe estar abastecida en su totalidad si la empresa no quiere perder las ventas realizadas en esta zona. Los costes de transportes por centro de distribución, expresados en u.m./unidad, se relacionan en la siguiente tabla:

	D1	D2	D3
O1	6	5	4
O2	5	6	7

Plantee, resuelva y comente un plan de envío que minimice los costes totales de transporte.

(Solución $\rightarrow Ct = 530$ u.m.)

PROBLEMA 10

Una compañía nacional opera con tres plantas productoras situadas en Badajoz, Toledo y Tarragona. Éstas distribuyen sus productos a dos almacenes,

los cuales reparten el producto a todo el territorio nacional. Se está buscando un plan de envío que permita minimizar los costes de transporte y no exceda de la capacidad de los centros productores. Además se quiere que la fábrica situada en Tarragona trabaje al 100% de su capacidad para un mejor aprovechamiento de las economías de escala. La información sobre demandas (u.f.), capacidades (u.f.) y costes de transporte unitarios (u.m.) se muestra en la siguiente tabla:

↓ 320

	Almacén 1	Almacén 2	Capacidad
Badajoz	100	40	200
Toledo	60	130	120
Tarragona	120	80	380
Demanda	260	120	

Comente un plan de envío que permita minimizar los costes de transporte.

(Solución → $Ct = 40.800$ u.m.)

PROBLEMA 11

La empresa FEBCINCO, S.A. posee dos fábricas situadas en importantes polígonos industriales de dos ciudades españolas, cuyas capacidades máximas de producción ascienden a 15.000 cajas mensuales cada una. Con dichas fábricas, la empresa debe abastecer la demanda de las ciudades en las que se encuentra (C1 y C2) y de dos ciudades colindantes (C3 y C4), cuyas exigencias mensuales ascienden a 10.000 cajas cada una. Dado que muchos residentes de las ciudades en las que están situadas las fábricas son empleados de la empresa y que ésta tiene una imagen excelente en dichas zonas, la dirección de la empresa ha decidido satisfacer totalmente las necesidades de dichas ciudades para poder cumplir con los objetivos establecidos en su estrategia empresarial y minimizar los costes de transporte. La información de que se dispone respecto a los costes unitarios de transporte por caja se refleja en la tabla adjunta. Comente el plan de envío óptimo para que la empresa minimice los costes totales de transporte.

$F_1: 15.000$ $C_1: 10.000$
 $F_2: 15.000$ C_2
 $F_3: 10.000$ C_3

	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4
Fábrica C1	5	10	15	12
Fábrica C2	2	6	9	12

(Solución → $C_t = 215.000$ u.m.)

✓ PROBLEMA 12

La empresa CUATRI, S.A. debe abastecer a tres zonas geográficas, z_1 , z_2 , y z_3 que demandan respectivamente 4.000.000, 2.000.000 y 6.000.000 unidades físicas semanales. Para ello la empresa cuenta con dos centros suministradores, s_1 y s_2 , de capacidades máximas respectivas de 2.000.000 y 5.000.000 unidades físicas semanales. Dada la escasa demanda de las zonas 1 y 2, la empresa se ha propuesto suministrarles todas las unidades solicitadas. Siendo los costes unitarios de transporte, expresados en miles de unidades monetarias, los que se muestran a continuación. Plantee, resuelva y comente el plan de distribución óptimo.

	Z1	Z2	Z3
S1	3	15	18
S2	2	20	10

(Solución → $C_t = 48.000.000$ u.m.)

PROBLEMA 13

Una empresa dispone de dos factorías, A y B, de producciones máximas respectivas 3.000 y 5.000 unidades físicas por período. Con la producción total de 8.000 unidades ha cubierto perfectamente, hasta el momento actual, las demandas de los dos únicos centros consumidores que existían, C_1 y C_2 . Los costes de transporte desde las factorías a los centros de consumo, se recogen en la tabla siguiente, en unidades monetarias por unidad de producto.

	Centro de consumo 1	Centro de consumo 2
Factoría A	5	2
Factoría B	3	4

La gerencia de la citada empresa ha decidido expansionarse en el futuro, para lo cual ha realizado una importante campaña publicitaria y un estudio de mercado, del que extrae las siguientes conclusiones:

- a) Para el próximo ejercicio, las demandas de los centros de consumo anteriores van a incrementarse hasta alcanzar la cifra de 10.000 y 15.000 unidades por período, respectivamente.
- b) Los costes de transportes anteriores permanecerán constantes en años sucesivos.

Asimismo se ha previsto la introducción de un nuevo mercado, que dará lugar a una demanda constante en los próximos años de 5.000 unidades físicas. Los costes de transportes desde las factorías A y B al nuevo mercado, son respectivamente, de 3 y 4 u.m.

Con el objeto de hacer frente a la nueva demanda y ante la imposibilidad de reestructurar las actuales factorías por suponerle un alto coste, la empresa decide que éstas trabajen al 100 por 100 de sus capacidades respectivas, y estudia la decisión de construir nuevas fábricas. Una vez ponderadas todas las posibles localizaciones de las nuevas plantas industriales, la empresa considera viables dos proyectos, P_1 y P_2 , de producciones máximas respectivas 16.000 y 8.000 unidades físicas, pudiéndose construir una instalación o las dos. Los costes de transportes unitarios, en u.m., desde estos nuevos centros productores a los mercados citados anteriormente se resumen en la tabla siguiente.

	Centro de consumo 1	Centro de consumo 2	Centro de consumo 3
Planta 1	2	1	7
Planta 2	6	4	3

Se desea conocer la decisión óptima a tomar en cuanto a la construcción de las nuevas plantas productoras, con el objeto de que el coste de transporte resulte mínimo.

(Solución $\rightarrow C_t = 61.000$ u.m.)

✓ PROBLEMA 14

TRASTI, S.L. se encarga de la distribución, a nivel nacional, de los productos de una conocida marca de juguetes. Para ello la empresa dispone de

tres almacenes, situados en Madrid, Barcelona y Sevilla, cuyas capacidades respectivas son de 2.000, 4.000 y 6.000 cajas mensuales. Dichos centros de distribución se ocupan del suministro de tres puntos de venta, cada uno de los cuales demanda al mes 1.000, 8.000 y 5.000 cajas, respectivamente. Dado que el punto de venta 3 depende exclusivamente de TRASTI, S.L. para su abastecimiento, la empresa intentará en todo momento satisfacer su demanda al 100%. Los costes de transporte entre los almacenes y los puntos de venta dependen de la distancia entre los mismos, siendo (en u.m.) los que a continuación se detallan:

	P1	P2	P3
Madrid	6	7	12
Barcelona	2	8	14
Sevilla	3	7	14

Plantee, resuelva y comente un plan de envío factible que permita minimizar los costes totales de transporte.

(Solución → $C_t = 110.000$ u.m.)

✓ **PROBLEMA 15**

Actualmente una empresa tiene el siguiente plan de envío

510

	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	
Fábrica A	5 30 5 0	4 10 4 0	3 6 3 0	40 F3
Fábrica B	6 2 4	1 30 0	3 10 0	40 F3
Fábrica Ficticia	0 10 0	M x	0 1 0	10 F3
	40	40	10	

¿Es óptima tal distribución? Justifique su respuesta aplicando para ello el método de los rendimientos marginales, y comente el plan de envío óptimo.

(Solución → $Ct = 220$ u.m.)

PROBLEMA 16

Se desea localizar dos centros comerciales y para ello se dispone de cuatro zonas posibles. Utilizando el método heurístico de Ardalan y conociendo los datos del número total de unidades de consumo (familias), así como la distancia media en kilómetros y coste por kilómetro en unidades monetarias de cada una de las zonas, indica cuáles serían las dos localizaciones idóneas.

Desde la zona	Si el centro comercial se situara en				Nº de familias	Coste por kilómetro
	A	B	C	D		
A	----	20	10	20	8.000	5
B	5	----	15	10	7.000	3
C	10	12	----	5	6.000	2
D	7	9	8	----	4.000	4

(Solución → A y D)

PROBLEMA 17

La Administración Pública desea localizar tres nuevos centros de información juvenil en las distintas zonas de riesgo de la ciudad pero, dadas las restricciones presupuestarias, este año sólo podrá instalar dos, planteándose cuál debe posponer para el ejercicio siguiente. Los datos de los que dispone la Administración respecto a las zonas son:

Desde la zona	Distancia en km. si el centro se situara en			Población de la zona	Factor de ponderación
	A	B	C		
A	0	10	7	15.000	1,5
B	10	0	5	20.000	0,5
C	7	5	0	18.000	1

Según las estimaciones realizadas, el coste unitario de desplazamiento entre las zonas A y B asciende a 3 u.m., entre A y C a 5 u.m., y entre B y C a 2 u.m. Indique cuáles serían las localizaciones idóneas, aplicando el método de Ardalan.

(Solución → B, A y C)

PROBLEMA 18

La empresa FOSFORÍN, S.A., desea localizar varias oficinas en la isla de Gran Canaria. La organización tiene intención de abrir 4 oficinas, sin embargo, sólo dispone de recursos para abrir 2 oficinas este año. Dada la siguiente tabla que muestra las posibles zonas, las distancias y el número potencial de clientes, aplique el método de Ardalan para determinar en qué zonas localizará FOSFORÍN sus oficinas.

Desde la zona	A	B	C	D	Nº de clientes
A	0	5	5	8	5.000
B	11	0	4	3	2.000
C	8	6	0	4	1.500
D	4	7	12	0	1.800

(Solución → A y D)

PROBLEMA 19

Con la incorporación del nuevo director general, una importante entidad bancaria en aras de garantizar la presencia de la empresa en todas las zonas de Gran Canaria, desea localizar tres nuevas sucursales en la isla. Sin embargo, debido a cuestiones presupuestarias y al elevado riesgo de la inversión, el nuevo director se ha planteado abrir una oficina por año. En base a los datos que se muestran en las tablas siguientes —distancia en kilómetros entre cada una de las zonas y número de clientes potenciales por zona— y a la estimación de los costes de desplazamiento entre cada una de las zonas, expresados en u.m. por kilómetro, aplique el método de Ardalan para determinar dónde se deben localizar las oficinas y cuál debe ser el orden de apertura.

Tabla 1. Kilómetros y clientes potenciales

Desde la zona	Sur	Norte	Centro	Este	Nº de clientes
Sur	0	95	52	31	6.000
Norte	95	0	38	46	4.800
Centro	52	38	0	26	9.400
Este	31	46	26	0	7.000

Tabla 2. U.m. por kilómetro

Desde la zona	Sur	Norte	Centro	Este
Sur	0	48	66	59
Norte	48	0	120	102
Centro	66	120	0	89
Este	59	102	89	0

(Solución → Este, Norte, Centro y Sur)

PROBLEMA 20

Una entidad bancaria desea localizar cuatro nuevas sucursales en las distintas zonas de expansión de la ciudad pero, dadas las restricciones presupuestarias este año sólo podrá instalar dos, planteándose cuáles debe posponer para el ejercicio siguiente. Los datos de los que dispone la entidad respecto a las distancias, la población objetivo y los costes de desplazamiento entre zonas son los que se muestran a continuación, así como el factor de ponderación que la entidad otorga a cada una. Indique cuáles serían las localizaciones idóneas, si se aplica el método de Ardalan.

Desde la zona	Distancia en km. si el centro se situara en			Población de la zona	Costes de desplazamiento desde	Factor de ponderación
	A	B	C			
A	0	8	6	15.000	5 €/km	1,5
B	4	0	6	20.000	6 €/km	0,5
C	5	3	0	18.000	3 €/km	1

(Solución → A, C y B)

5

capítulo

La calidad de los procesos productivos



5. LA CALIDAD DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

- † 1. Los gráficos de control por variables
2. Los gráficos de control por atributos
3. Problemas propuestos

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos del área de operaciones es la mejora de la calidad. Mediante la gestión de la calidad total se compromete a toda la organización, desde los proveedores hasta los clientes. Además con una buena gestión de calidad la empresa logrará disminuir los costes generados por artículos defectuosos. Una de las herramientas para gestionar la calidad son los gráficos de control.

Los gráficos de control son una técnica excelente para mejorar la calidad, definir la capacidad de un proceso, tomar decisiones relativas a las especificaciones del producto y del proceso. Los gráficos de control nos indicarán que ya no es posible mejorar más si no se está dispuesto a realizar nuevas inversiones.

Los gráficos de control se utilizan para determinar el funcionamiento de un proceso y para asegurar que los procesos cumplen con unos estándares. La finalidad de los gráficos de control es proporcionar información para distinguir entre variaciones naturales y variaciones no naturales. Se dice que un proceso está bajo control cuando las únicas causas de variación son comunes, es decir, si se trata de un patrón natural, mientras que si las causas de variación además de las causas naturales, son imputables o asignables, y por tanto, hay que emprender acciones para detectarlas y eliminarlas, el proceso se considera inestable. Se dice que un proceso es estable cuando cumple las siguientes condiciones:

- No hay puntos fuera de los límites de control (si un punto está en el límite se considerará que está fuera de dicho límite).
- No hay una anomalía en la distribución de los puntos.

Un punto que está fuera de los límites de control significa que existe una causa asignable que perturba el proceso. Esta causa asignable debe ser descubierta y eliminada rápidamente. No obstante, antes de tomar medidas correctivas, conviene averiguar si los errores provienen de una medición mal hecha o si el proceso había sido realmente modificado. Si en un período breve se verifican dos puntos fuera de control, el proceso señala sin duda su modificación.

También se interpreta que está fuera de control si se encuentra una serie de valores, por ejemplo, siete puntos sucesivos que caen en un lado del valor central, de lo que se deduce que la media ha sufrido un desplazamiento.

A veces se presenta una tendencia en la distribución de la variable, es decir, un ascenso o una caída sostenida en la posición de los puntos; si esto se da en siete puntos consecutivos es señal de que existe una anomalía, por lo que habrá que parar el proceso y corregirlo. Si los valores de los puntos oscilan mucho de muestra en muestra significa que la máquina está mal ajustada. Dentro de los gráficos de control se distinguen: gráficos de control por variables y gráficos de control por atributos.

OBJETIVOS

- Analizar los retos que la calidad implica para las organizaciones.
- Identificar la importancia del control de la calidad como herramienta de gestión.
- Aprender a realizar e interpretar los gráficos de control por variables.
- Distinguir cuándo aplicar un gráfico de control por atributos y sus variantes.

1. LOS GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES

Las variables son características continuas, que toman un número infinito de valores, y para su análisis se utilizan los gráficos de control para la media (\bar{X}) y los gráficos de control para el rango (R). El gráfico de control de la media (\bar{X}) indica si se producen cambios en la tendencia central de un proceso de producción, mientras que los gráficos de control del rango (R)

indican la dispersión de un proceso de producción. Los dos gráficos se analizan conjuntamente para controlar el proceso.

- **Gráfico X.** Para establecer los límites de control inferior y superior para el gráfico X se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LCS_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$
$$LCI_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

donde:

$\bar{\bar{X}}$ = La media de las medias de las muestras.

\bar{R} = La media de los rangos de las muestras, siendo el rango la diferencia entre el valor más alto y más bajo.

A_2 = Constante que establece unos límites de control de tres desviaciones típicas.

LCS_x = límite de control superior para la media.

LCI_x = límite de control inferior para la media.

- **Gráfico R.** Los límites de control para la gráfica del rango se calculan mediante las siguientes fórmulas:

$$LCS_R = D_4 \bar{R}$$
$$LCI_R = D_3 \bar{R}$$

donde:

LCS_R = Límite de control superior para el rango.

LCI_R = Límite de control inferior para el rango.

D_3 y D_4 = Proporcionan los límites de tres desviaciones típicas.

Factores para calcular los límites de los gráficos de control

Tamaño de la muestra	Factor de la media A_2	Rango superior D_4	Rango inferior D_3
2	1,880	3,268	0
3	1,023	2,574	0
4	0,729	2,282	0
5	0,577	2,114	0
6	0,483	2,004	0
7	0,419	1,924	0,076
8	0,373	1,864	0,136
9	0,337	1,816	0,184
10	0,308	1,777	0,223
12	0,266	1,716	0,284
14	0,235	1,671	0,329
16	0,212	1,636	0,364
18	0,194	1,608	0,392
20	0,180	1,586	0,414
25	0,153	1,541	0,459

EJEMPLO DE GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES

Una oficina bancaria quiere medir el tiempo que tardan sus empleados en coger el teléfono. En la tabla siguiente se recoge el número de veces que suena el teléfono antes de que la llamada sea atendida para 6 empleados. Cada muestra consta de 4 observaciones. Con estos datos se puede construir un gráfico de control de la media \bar{X} y del rango R para determinar si el proceso se encuentra en estado de control.

Empleados	Observaciones				\bar{X}	R
1	5	3	6	10	6	7
2	7	5	3	5	5	4
3	1	8	3	12	6	11
4	7	6	2	1	4	6
5	3	15	6	12	9	12
6	4	12	5	11	8	8
					$\bar{\bar{X}}=6,33$	$\bar{R}=8$

Gráfico de la media (X)

Aplicando la fórmula de los límites del control de la media anteriores se obtienen los siguientes valores:

$$LCS_x = 6,33 + 0,729 \cdot 8 = 12,165$$

$$LCI_x = 6,33 - 0,729 \cdot 8 = 0,501$$

Donde A2 es el factor de la media que se ha obtenido de las tablas estadísticas para muestras de tamaño 4 (A2= 0,729).

GRÁFICO X

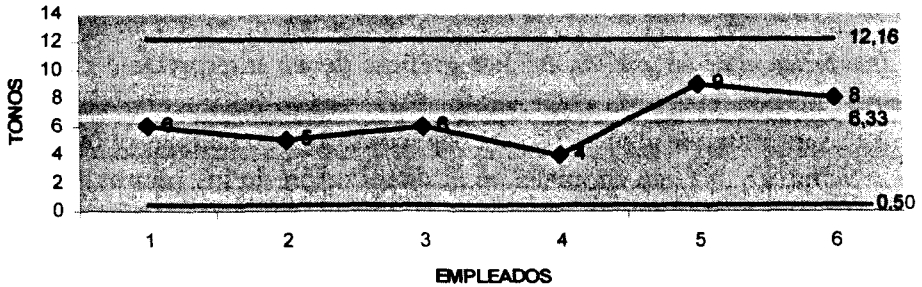


Gráfico del Rango (R)

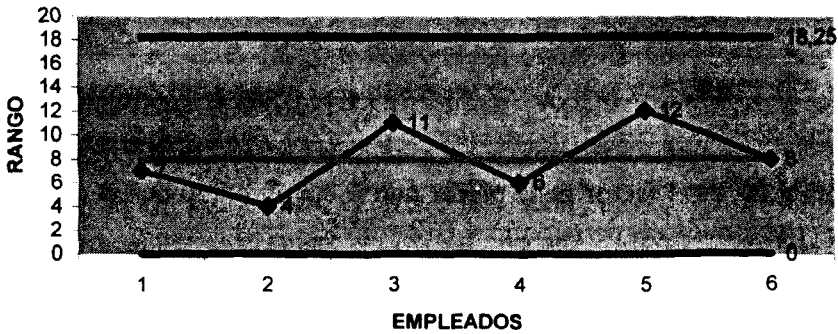
Aplicando las fórmulas de los límites del control del rango se obtienen los siguientes valores:

$$LCS_R = 2,282 \cdot 8 = 18,256$$

$$LCI_R = 0,000 \cdot 8 = 0$$

Donde D3 y D4 representan el factor superior y el inferior de la media obtenido de las tablas estadísticas cuyos valores, para muestras de tamaño cuatro, son de 2,282 y 0, respectivamente.

GRÁFICO R



Interpretación de las gráficas. Ambas gráficas deben interpretarse conjuntamente y no por separado ya que la información es complementaria. Los gráficos nos indican que el proceso está bajo control ya que no hay puntos fuera de los límites y no hay anomalía en la distribución de los puntos. Por esta razón, se puede decir que las variaciones son de tipo natural, no existiendo causas asignables o específicas que haya que averiguar.

2. LOS GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

En muchas de las ocasiones las unidades de medida son clasificadas como defectuosas o no defectuosas. Existen dos tipos de gráficos de control por atributos: gráfico p y gráfico c.

Gráfico p. Se utiliza cuando se mide el porcentaje de unidades defectuosas en una muestra. Para ello es necesario tomar varias muestras aleatorias de n unidades a intervalos de tiempo específicos; luego se calcula el porcentaje de productos defectuosos (p) en la muestra; y estos valores de p se representan en la gráfica. Las fórmulas para calcular sus límites superior e inferior son:

$$LCS_p = \bar{p} + Z \sigma_p$$

$$LCI_p = \bar{p} - Z \sigma_p$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

donde:

p = Porcentaje medio de productos defectuosos.

Z = Número de desviaciones típicas ($Z=3$).

n = Tamaño de cada muestra.

EJEMPLO DE GRÁFICO P

El departamento de logística de una empresa que opera en el comercio electrónico cuenta con 20 empleados que realizan cientos de envíos a diferentes partes del mundo. Una muestra de 100 envíos de pedidos registrados por cada empleado fue obtenida con el fin de estudiar el proceso de registro, tal como muestra la tabla siguiente para elaborar un gráfico p y calcular el porcentaje de envíos defectuosos.

Muestra	Envíos defectuosos	% Def.	Muestra	Envíos defectuosos	% Def.
1	6	0,06	11	6	0,06
2	5	0,05	12	1	0,01
3	0	0,00	13	8	0,08
4	1	0,01	14	7	0,07
5	4	0,04	15	5	0,05
6	2	0,02	16	4	0,04
7	5	0,05	17	11	0,11
8	3	0,03	18	3	0,03
9	3	0,03	19	0	0,00
10	2	0,02	20	4	0,04

$$\bar{p} = \frac{N^{\circ} \text{ total errores}}{N^{\circ} \text{ total registros}} = \frac{80}{100(20)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,02$$

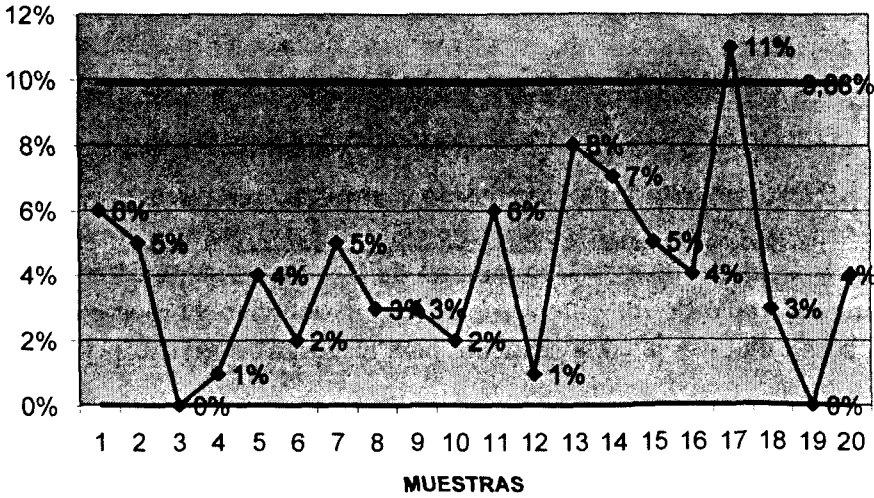
Los límites de control calculados al 99,7% ($Z=3$) son los siguientes:

$$LCS_p = 0,04 + 3(0,02) = 0,10.$$

$$LCI_p = 0,04 - 3(0,02) = -0,02 \text{ (se iguala a 0).}$$

% PRODUCTOS DEFECTUOSOS

GRÁFICO P



En el gráfico anterior se puede observar que el empleado número 17 está fuera de control. La empresa debería investigar y controlar el trabajo de este empleado para determinar las posibles causas. Asimismo, sería interesante analizar por qué los empleados 3 y 19 no cometen envíos defectuosos. Los métodos empleados por estos empleados podrían ayudar al resto a disminuir el porcentaje de envíos erróneos.

Gráfico c. Se utiliza para controlar el número de defectos por unidad de output (e.g., números de errores en un billete de avión). En el gráfico anterior se contabilizó el número de unidades defectuosas, pero un producto defectuoso puede tener más de un defecto. Para calcular los límites superior e inferior se utiliza la distribución de probabilidad de Poisson, cuyas fórmulas son las siguientes:

$$LCS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCI_c = \bar{c} - \sqrt{\bar{c}}$$

EJEMPLO DE GRÁFICO C

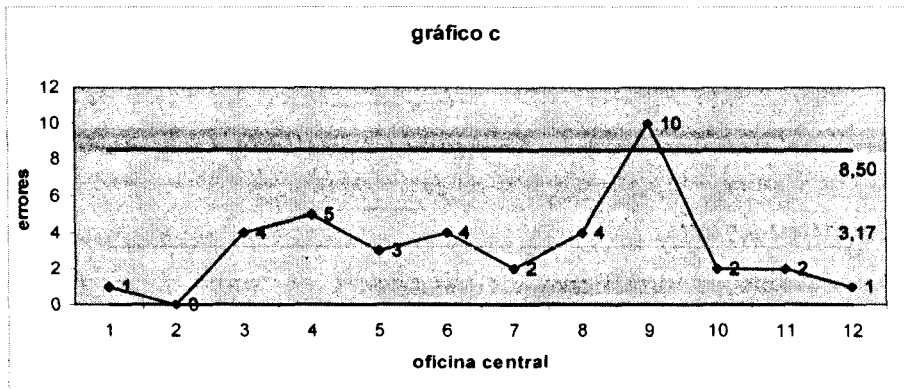
El departamento de logística de una empresa realiza un *checking list* de la oficina central para detectar los errores en las facturas enviadas a los clientes cuando éstas son pagadas por los mismos. El número de errores detectados en el último año en la oficina central son los siguientes: 1,0,4,5,3,4,2,4, 8,2,2,1. Para calcular los límites de control para el 99,7% se toma:

$$\bar{c} = \frac{36}{12} = 3,17 \text{ errores/día}$$

donde:

$$LCS_c = 3 + 3\sqrt{3,17} = 8,50$$

$$LCI_c = 3 - 3\sqrt{3,17} = -2,34 = 0$$



El número de errores obtenidos en las facturas no ha seguido un patrón uniforme en el último año, concretamente en el mes de septiembre se han producido 10 errores, por lo que habría que averiguar las causas que los han originado.

3. PROBLEMAS PROPUESTOS

PROBLEMA 1

La empresa WVX, S.A., es un proveedor de repuestos de vehículos que desea controlar el tamaño de los cojinetes de rodillo cilíndricos. En la tabla se muestra el tamaño (expresado en centímetros) de 5 muestras distintas de tamaño 4. Se pide elaborar un gráfico X y R y determinar si el proceso está bajo control.

Muestra	Datos			
	1	1	2	4
2	6	5	2	5
3	2	8	10	14
4	5	3	3	4
5	3	4	2	3

(Solución \rightarrow $LCS_x=7,753$; $LCI_x=1,047$;
 $X=4,40$; $LCS_R=10,497$; $LCI_R=0,00$; $R=4,6$)

PROBLEMA 2

GOFY, S.A., empresa dedicada al envasado de harina de maíz tostado (gofio), toma una muestra durante 5 días de los pesos, expresados en kilogramos, de las bolsas de su producto con el fin de determinar si el proceso está o no bajo control estadístico. En cada uno de los días examina 7 bolsas. La información que se recoge es la siguiente:

Muestra	Observaciones						
	1	6,23	6,13	6,56	6,78	6,98	7,01
2	6,54	6,45	6,78	6,43	6,23	5,6	6,12
3	6,78	7,01	6,90	6,16	6,90	7,12	6,56
4	6,43	6,89	5,89	6,79	6,14	6,34	6,45
5	6,52	6,23	6,54	7,02	6,99	6,12	6,54

Elabore el gráfico de la X y del R y determine si el proceso está bajo control.

(Solución $\rightarrow LCS_x=6,937; LCI_x=6,091;$
 $X= 6,515; LCS_R=1,964; LCI_R=0,007; R=1,097$)
 103

PROBLEMA 3

SOLAR, S.A. se dedica a la fabricación y comercialización de cremas solares que protegen del sol. Este producto se fabrica con una máquina automática que en muchas ocasiones no es muy precisa. Para mantener el proceso de llenado bajo control, se sacan al azar cuatro tubos de la cinta de envasado cada tres horas. Al cabo de varios días se obtuvieron los datos indicados en la tabla siguiente. Se pide calcular los límites del control de la media y del rango e indicar si el proceso está bajo control.

Muestra	Datos			
1	1	2	4	2
2	6	5	2	5
3	2	8	10	14
4	5	3	3	4
5	3	4	2	3

74'813
 (Solución $\rightarrow LCS_x=7,843; LCI_x=72,277;$
 $X= 73,56; LCS_R=4,016; LCI_R=0,000; R=1,76$)

PROBLEMA 4

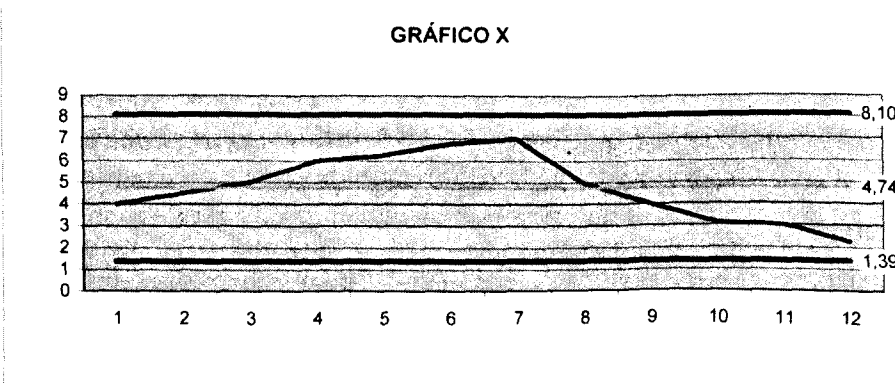
La empresa DONUTAS, S.A. desea controlar las dimensiones de las cajitas empleadas para empaquetar 3 bollos de chocolate (expresados en centímetros) que recibe de su proveedor. Para ello ha realizado un estudio de proceso extra-^{datos}yendo 4 ~~muestras~~ durante 7 días consecutivos. Represente gráficamente las muestras, calculando previamente los datos que sean necesarios y comente si el proceso está bajo control.

Muestra	Observaciones			
1	16	15	14	13
2	16	15	15	16
3	17	16	14	13
4	15	14	21	15
5	16	17	18	13
6	19	16	18	14
7	20	17	21	19

(Solución $\rightarrow LCS_x=19,19; LCI_x=13,58;$
 $X=16,179; LCS_R=9,454; LCI_R=0,000; R=4,14$)

PROBLEMA 5

La empresa CARTÓN, S.A. decide controlar el proceso productivo, utilizando para ello el gráfico X. Con este fin se han tomado 12 muestras de tamaño 4, cada una de las cuales tiene cuatro observaciones. Interprete el gráfico obtenido y comente las causas de variabilidad que afectan al proceso. Calcule el rango medio.



(Solución $\rightarrow R=4,60$)

PROBLEMA 6

La empresa ELECTRYCA, S.A., dedicada a la fabricación y comercialización de aparatos de DVD, retira de una línea de montaje una muestra de

130 aparatos ^{para ser} inspeccionados. Durante los últimos 21 días se ha obtenido la información que se muestra en la siguiente tabla. Se pide realizar un gráfico de control y determinar si el proceso está bajo control.

Día	Nº de DVD defectuosos
1	6
2	5
3	6
4	4
5	3
6	4
7	5
8	3
9	6
10	3

Día	Nº de DVD defectuosos
11	7
12	5
13	4
14	3
15	4
16	5
17	6
18	5
19	4
20	3
21	7

(Solución → $p=3,50\%$; $LCS=9,01\%$; $LCI=0,00\%$)

PROBLEMA 7

DECORSUR, S.A., fabrica muebles. Entre los 200 últimos componentes inspeccionados ha detectado que el porcentaje de defectuosos ha sido del 7 por 100. Determine los límites de control superior e inferior.

(Solución → $LCS=14,65\%$; $LCI=0,00\%$)

PROBLEMA 8

La cadena de restaurantes FASTFOOD, S.A. está llevando a cabo una investigación acerca de la satisfacción de los clientes con el fin de mejorar la calidad. Para ello se ha elaborado un cuestionario que se acompaña a cada comida servida. en el cuestionario se le pregunta a los clientes, entre otras cosas, si están satisfechos con aspectos tangibles e intangibles del servicio.

Una muestra de 125 clientes ^{tomada} durante una semana ofreció los siguientes resultados:

Día	Nº clientes insatisfechos
1	24
2	32
3	10
4	19
5	12
6	37
7	21

Se pide realizar un control de calidad del servicio de restaurantes y comentar los resultados.

(Solución $\rightarrow p=17,71\%$; $LCS=29,17\%$; $LCI=0,00\%$)

PROBLEMA 9

En un ayuntamiento se realizó un sondeo de opinión acerca de la calidad de los servicios prestados a sus administrados. En los últimos 10 días se contestaron 1.200 cuestionarios, ^{Nº de cuestionarios} por lo que el gerente considera una muestra suficiente para realizar las interpretaciones. La información recogida se encuentra en la siguiente tabla. Se pide calcular los límites de control e interpretar dicha solución en la gráfica.

Día	Número de administrados insatisfechos
1	74
2	42
3	64
4	80
5	50
6	67
7	13
8	16
9	45
10	75

(Solución $\rightarrow p=4,64\%$; $LCS=10,96\%$; $LCI=0,00\%$)

PROBLEMA 10

Supply Firm, S.A. fabrica ordenadores personales para familias y estudiantes. Últimamente está recibiendo muchas quejas de su principal cliente. Para ello toma muestras de 15 ordenadores durante los últimos 10 meses y se decide analizar los defectos independientemente de su naturaleza. La información se expresa en la siguiente tabla:

Muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Defectos	6	7	4	5	3	5	6	3	6	5

Indicar si el proceso está bajo control y comentar a qué pueden ser debidas tales quejas.

(Solución → $c=5$; $LCS= 11,70$; $LCI=0,00$)

PROBLEMA 11

Una compañía de seguros recibe quejas diarias de sus asegurados de los talleres mecánicos con los que tiene acuerdos de colaboración. En un período de 7 días ha recibido las siguientes quejas de clientes enfadados acerca del resultado del servicio: 3, 0, 5,7, 8, 5, 4. Calcule los límites de control e interprete la solución.

(Solución → $c=4,57$; $LCS= 10,98$; $LCI=0,00$)

PROBLEMA 12

Una compañía de máquinas expendedoras desea controlar la calidad de sus máquinas en la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, por lo que ha decidido analizar gráficamente el número de quejas de los profesores, alumnos y del personal de servicios. Una revisión de las quejas de la última semana dio lugar a la siguiente información:

Día	Nº clientes insatisfechos
Lunes	5
Martes	0
Miércoles	No hay datos
Jueves	13
Viernes	3

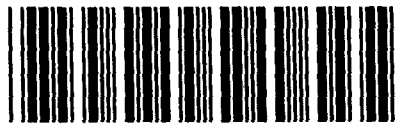
¿Qué opinión le merece el servicio?

(Solución $\rightarrow c=5,25; LCS= 12,12; LCI=0,00$)

Bibliografía

- Bolívar Cruz, A.; Espino Rodríguez, T.; Medina Brito, P. y Sosa Cabrera, S. (1999). *Problemas de Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos*. Servicio de publicaciones ULPGC.
- Chase, R., Aquilano, F. y Jacobs, R. (2000). *Administración de producción y operaciones: manufactura y servicios*. Ed. McGraw-Hill.
- Domínguez Machuca, J. A.; Álvarez Gil, M. J.; Domínguez Machuca, M.A.;García González, S. y Ruíz Jiménez, A. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Ed. McGraw-Hill.
- Domínguez Machuca, J. A., Álvarez Gil, M. J., Domínguez Machuca, M. A.; García González, S. y Ruíz Jiménez, A. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos en la producción y los servicios*. Ed. McGraw-Hill.
- Fernández Sánchez, E.; Avella Camarero, L. y Fernández Barcala, M. (2003). *Estrategia de producción*. Ed. McGraw-Hill.
- Heizer, R. y Render, B. (2001). *Dirección de la producción. Decisiones estratégicas*. Ed. Prentice-Hall.
- Heizer, R. y Render, B. (2001). *Dirección de la producción. Decisiones tácticas*. Ed. Prentice-Hall.
- Krajewski, L. y Ritzman, L. (2000). *Administración de Operaciones. Estrategia y Análisis*. Ed. Prentice-Hall.
- Martín Peña, M. L.; Carrasco Bañuelos, E.; Díaz Garrido, E.; García Muiña, F. E. y Montero Navarro, A. (2003). *Dirección de la Producción*. Ed. Prentice-Hall.
- Miranda, F. J.; Rubio, S.; Chamorro, A. y Bañegil, T.M. (2005). *Manual de Dirección de Operaciones*. Ed. Thomson.

ULPGC.Biblioteca Universitaria



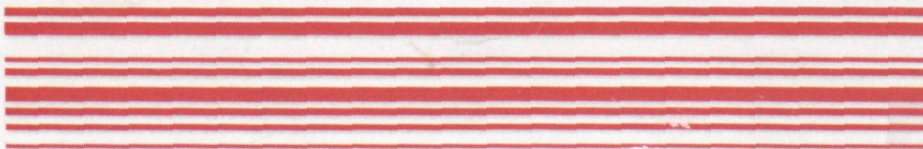
849064

BIG 658.01 DEC dec

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria está convencida de la necesidad de elaborar materiales docentes de calidad para dinamizar y facilitar los procesos de enseñanza y aumentar el éxito académico de los estudiantes.

Para lograr este objetivo, se ha puesto en marcha la publicación de manuales docentes de asignaturas troncales y obligatorias de materias correspondientes a distintas titulaciones de las grandes áreas de conocimiento.

Esta línea de publicaciones pretende convertirse en una herramienta útil para los estudiantes que les permita abordar los procesos de aprendizaje con materiales estructurados a partir de un diseño común. Al mismo tiempo, nos pone en el camino de la mejora de los programas formativos que ofertamos a la sociedad.



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Servicio de Publicaciones

ISBN 84-96502-84-8



9 788496 502840