



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Administración de Empresas
Ingeniería Comercial

Investigación Operativa II

Gestión I/2018

Programa Semestral

I. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN EL ESTUDIANTE

Competencias Generales de la Asignatura:

- Resuelve problemas de la actividad operacional de alguna empresa en particular o un sistema en general, lo cual permite que el estudiante conozca y utilice estas herramientas.
- Utiliza los análisis y la deducción lógica del razonamiento de la Investigación Operativa, relativos al perfil del profesional.
- Detecta una situación o problema a través del análisis y el cálculo de una actividad productiva en particular.

Competencias Generales Educativas:

- Analiza, evalúa y calcula las diferentes relaciones de los diferentes métodos, reglas y soluciones que se estudian dentro de la asignatura.
- Analiza y evalúa la aplicabilidad de los instrumentos que nos provee la asignatura, en la búsqueda de soluciones de los problemas detectados, relativos al perfil profesional.
- Ejercita el pensamiento crítico alternativo y reflexivo como rasgo cualitativo y cuantitativo del perfil profesional.

II. PROGRAMA ANALÍTICO DE LA ASIGNATURA.

TEMA I. PROGRAMACIÓN ENTERA

- 1.1. Introducción
- 1.2. Formulación del problema
- 1.3. Método de planos de corte
- 1.4. Técnica de Ramificación y acotamiento
- 1.5. Reglas para eliminar sub problemas

TEMA II. PROGRAMACIÓN POR REDES

- 2.1 Análisis de redes
- 2.2 Planeación y control de proyectos
- 2.3 Problema de flujo máximo
- 2.4 Problema de flujo a costo mínimo
- 2.5 Problema de flujo máximo a costo mínimo

TEMA III. TEORIA DE LINEAS DE ESPERA

- 3.1 Introducción
- 3.2 Modelos de filas de esperas
- 3.3 Distribución de llegadas
- 3.4 Distribución del tiempo de servicio
- 3.5 Modelos de filas de espera

TEMA IV. TEORIA DE JUEGOS

- 4.1 Definición
- 4.2 Solución óptima a juegos de suma cero
- 4.3 Estrategia dominada
- 4.4 Juegos con estrategias mixtas
- 4.5 Solución mediante programación lineal

TEMA V. TEORIA DE DECISIONES

- 5.1 Proceso de decisión
- 5.2 Toma de decisiones bajo certidumbre
- 5.3 Evaluación de alternativas
- 5.4 Método de matriz de preferencias

TEMA VI. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

- 6.1 Definición
- 6.2 Simulación Monte Carlo
- 6.3 Generación de números aleatorios
- 6.4 Métodos para reunir observaciones estadísticas

III. BIBLIOGRAFÍA.

- Juan Prawda Witenberg. "Métodos y modelos de investigación de operaciones". Editorial Limusa
- F. S. Hillier y G. J. Lieberman. "Introducción a la Investigación operativa". Editorial Mc Graw-Hill.
- H. A. Taha. "Investigación Operativa". Editorial Servicios de Ingeniería.
- Gould FLJ y Eppen G. D. "Investigación de Operaciones" en la Ciencia Administrativa"
- Davis McKeown, "Modelos Cuantitativos en la Ciencia Administrativa". Editorial Limusa,

TEMA I: PROGRAMACIÓN ENTERA

Competencias educativas:

1. Reconoce la estructura de modelos de programación entera mediante el uso correcto del algoritmo correspondiente.

Competencias instructivas:

1. Describe el significado de las variables enteras
2. Estructura un problema construyendo un modelo matemático que lo represente
3. Utiliza algoritmos de solución
4. Interpreta los datos y soluciones de los casos propuestos

DEFINICIÓN

En muchos problemas prácticos las variables de decisión solo tienen sentido real si su valor es entero.

Si la única diferencia del problema con la formulación de programación lineal es la de exigir que sus valores sean enteros, entonces el problema es de Programación Lineal Entera PLE.

El modelo matemático de PLE es equivalente al modelo de programación lineal con la restricción adicional que las variables de decisión toman valores enteros

TIPOS DE PLE

- Programación entera pura
- Programación entera mixta
- Programación entera Binaria

SOLTURA DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Problema correspondiente de programación lineal de un problema de programación lineal entera.

MÉTODOS DE SOLUCIÓN

- Método de Planos de corte: Algoritmo de Gomory
- Método de Ramificación y Acotamiento

MÉTODO DE PLANOS DE CORTE

Una vez que se tiene la solución de la soltura de programación lineal, se realizan cortes de esta región usando planos hasta obtener la solución óptima entera

Algoritmo de Gomory:

1. Resolver la soltura de programación lineal
2. Si la solución óptima obtenida en 1 es entera, entonces se tiene la solución óptima entera, de otra manera continuar a 3
3. Seleccionar el máximo fraccionario y generar un corte:

$$\sum_{i=1}^{i=n} (a_{ij} - [a_{ij}]) X_{ij} \geq (X_{Bi} - [X_{Bi}])$$

4. Añadir este corte como una restricción adicional junto con su variable superflua, resolver y volver a 2

MÉTODO DE RAMIFICACIÓN Y ACOTAMIENTO

Útil sobre todo para problemas de programación entera binaria.

La idea básica es dividir (ramificar) el problema en sub-problemas cada vez más pequeños hasta que estos se puedan vencer, y luego para cada sub-problema se va acotando la solución.

Es decir el principio es:

- Ramificación
- Acotamiento
- Eliminación

Reglas para eliminar sub-problemas

- 1) Un sub-problema se elimina si su cota es $\leq Z^*$
- 2) Si su soltura de programación lineal no tiene soluciones factibles
- 3) Si la solución óptima para la soltura de programación lineal es entera

Ejemplo de Aplicación 1. Resuelva el siguiente modelo por el método de planos de corte

$$\text{Max } Z = 8X_1 + 5X_2$$

$$\text{s.a. } 2X_1 + 3X_2 \leq 8$$

$$4X_1 + 3X_2 \leq 10$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0;$$

$$X_1, X_2, \text{ Enteros}$$

Ejemplo de Aplicación 2. Resuelva el siguiente modelo por el método de ramificación y acotamiento

$$\text{Max } Z = 8X_1 + 5X_2$$

$$\text{s.a. } 2X_1 + 3X_2 \leq 8$$

$$4X_1 + 3X_2 \leq 10$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0;$$

$$X_1, X_2, \text{ Enteros}$$

TRABAJO PRÁCTICO N° 1

- 1) Resuelva los siguientes problemas por el método de planos de corte
- a) $\text{Max } Z = 6X_1 + 9X_2$
 s.a. $3X_1 + 2X_2 \leq 10$
 $4X_1 + 7X_2 \leq 15$
 $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0; X_1, X_2, \text{ Enteros}$
- b) $\text{Max } Z = 7X_1 + 9X_2$
 s.a. $4X_1 + X_2 \leq 26$
 $5X_1 + 9X_2 \leq 40$
 $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0; X_1, X_2, \text{ Enteros}$
- 2) Resuelva el siguiente problema por el método de ramificación y acotamiento
- $\text{Max } Z = 6X_1 + 8X_2 + 4X_3$
 s.a. $5X_1 - 5X_2 + X_3 \leq 9$
 $-2X_1 + 7X_2 + X_3 \leq 9$
 $-2X_1 + 2X_2 + 2X_3 \leq 12$
 $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0; X_1, X_2, X_3 \text{ Enteros}$
- 3) El siguiente modelo de programación lineal permite programar la producción de una fábrica de sombreros en 3 estilos:
 $\text{Max } Z = 7X_1 + 5X_2 + 2X_3$
 s.a. $3X_1 + 5X_2 + X_3 \leq 150$ (Tiempo de máquina A)
 $5X_1 + 3X_2 + 2X_3 \leq 100$ (Tiempo de máquina B)
 $X_1 + 2X_2 + X_3 \leq 160$ (Tiempo de máquina C)
 $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0; X_1, X_2, X_3 \text{ Enteros}$
 ¿Cuántos sombreros de cada tipo debe producir la fábrica para maximizar la ganancia total?
- 4) En una carpintería se fabrican mesas y sillas, la carpintería cuenta con dos departamentos en paralelo con capacidad de 44 horas semanales respectivamente. Cada mesa deja una **ganancia** de Bs.150 y requiere de 5 horas de trabajo en el departamento I y 3 horas en el departamento II. Mientras que una silla deja **ganancia** de Bs. 200 y requiere 3 horas de trabajo del departamento I y 5 horas del departamento II. ¿Cuántas mesas y sillas debe producir la carpintería cada semana para maximizar la ganancia total?

PRÁCTICA COMPLEMENTARIA

- 1) CDLP es un fabricante de calzado deportivo para jugadores de básquet y fútbol. El gerente de marketing tiene que decidir la mejor forma de gastar los recursos destinados a publicidad. Cada uno de los equipos de fútbol patrocinados requiere 120 pares de zapatos y cada equipo de básquet requiere 32 pares de zapatos. Los entrenadores de fútbol reciben Bs. 3.000 por concepto de patrocinio para calzado, y los entrenadores de básquet reciben Bs. 10.000 para este mismo propósito. El presupuesto de la empresa para promociones totaliza Bs. 300.000. La fábrica dispone de 4.000 cc de flubber (compuesto costoso que se utiliza en la fabricación de calzados deportivos de promoción). Cada par de calzado de básquet requiere 3cc de flubber y cada par de zapatos para fútbol requiere 1cc. El gerente de marketing desea patrocinar el mayor número de equipos de básquet y fútbol que sus recursos le permitan.
 ¿Cuál es el número máximo de cada tipo de equipo que la Cia. Será capaz de patrocinar?
- 2) El gerente de planificación de productos de W&E desea determinar la mezcla óptima de productos de televisión para el próximo semestre. La capacidad de producción de la operación de fabricación es de 10.000 horas y de ensamble es de 50.000 horas
 La Cia. debe producir 3 tipos de televisores: portátiles, regulares y "teatro en el hogar". La ganancia bruta y los requisitos de producción correspondientes a cada tipo de televisor son los siguientes:

Televisor	Ganancia bruta \$	Fabricación (hr/u)	Ensamble (hr/u)
Portátil	95	3	9
Regular	125	4	11
Teatro en el hogar	220	5	12

El departamento de marketing ha determinado además que la demanda de televisores regular es por lo menos el doble de la demanda de televisores "Teatro en el hogar".

¿Con que mezcla de productos se logra optimizar la ganancia bruta?

TRABAJO GRUPAL N° 1
EL PROBLEMA DE PRESUPUESTO DE CAPITAL

Se están evaluando 4 proyectos a lo largo de un horizonte de planificación de tres años. La siguiente tabla proporciona las utilidades esperadas para cada proyecto y los egresos anuales asociados.

Proyecto	Egresos (millones de dólares)/anuales			Utilidades (millones de dólares)
	1	2	3	
1	2	2	7	30
2	3	6	9	45
3	4	9	3	35
4	3	1	2	20
Fondos disponibles (millones de dólares)	30	30	30	

Determine los proyectos que se van a ejecutar a lo largo del horizonte de tres años. Defina la variable binaria x_j como:

- $x_j = 1$ El proyecto j está seleccionado
 $x_j = 0$ El proyecto j no está seleccionado

El modelo de programación lineal será:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 30X_1 + 45X_2 + 35X_3 + 20X_4 \\ \text{S.A. } 2X_1 + 3X_2 + 4X_3 + 3X_4 &\leq 30 \\ 2X_1 + 6X_2 + 9X_3 + X_4 &\leq 30 \\ 7X_1 + 9X_2 + 3X_3 + 2X_4 &\leq 30 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 &= (0,1) \end{aligned}$$

TEMA II: PROGRAMACIÓN POR REDES

Competencias educativas:

1. Conoce los métodos de planeación y control de proyectos utilizando herramientas de programación a un nivel aplicativo.

Competencias instructivas:

1. Comprende la base del análisis de redes, aplicando esta herramienta a un problema tipo.
2. Identifica secuencia de actividades críticas que determinan la duración de un proyecto.
3. Determina el programa apropiado para que el proyecto tenga un costo mínimo.

INTRODUCCION

Existen una gran variedad de problemas que se pueden representar a través de redes. La representación a través de redes se utiliza ampliamente en áreas como:

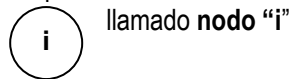
- Planeación y control de proyectos
- Problemas de flujo máximo
- Problemas de Costo mínimo
- Problema de la ruta más corta

La representación en redes proporciona un panorama general y ayuda a visualizar las relaciones entre los componentes del sistema a analizar.

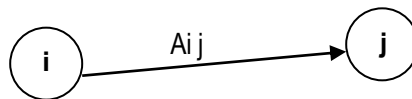
Los modelos de redes son casos particulares de la programación lineal que disponen de métodos propios que resultan más eficientes que el simplex.

TERMINOLOGIA

- **RED:** conjunto de nodos conectados entre si por líneas o arcos
- **NODOS:** se representan con círculos



- **ARCOS:** líneas que se usan para unir 2 nodos. Los arcos pueden ser dirigidos o no dirigidos



A cada arco A_{ij} se asocia una variable X_{ij} que indica el flujo de i hacia j y c_{ij} es el costo por unidad de flujo. La siguiente tabla resume algunos ejemplos de redes representativas:

NODOS	ARCOS	FLUJOS
Ciudades	Camino	Vehículos o personas
Aeropuertos	Rutas aéreas	Aviones
Puntos de Conmutación	Cables o Canales	Mensajes
Estaciones de Bombeo	Tuberías	Fluidos
Centros de Trabajo	Rutas de manejo de materiales	Trabajo

PLANEACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS

Un **proyecto** define una combinación de actividades interrelacionadas que deben ejecutarse en un cierto orden antes que el trabajo completo pueda terminarse. Las actividades están interrelacionadas en una secuencia lógica en el sentido que algunas de ellas no pueden comenzar hasta que otras se hayan terminado. Una **actividad** en un proyecto, usualmente se ve como un trabajo que requiere tiempo y recursos para su terminación. En general, un proyecto es esfuerzo de un solo periodo; esto es, la misma sucesión de actividades puede no repetirse en el futuro.

El objetivo de la programación de proyectos es establecer la duración del proyecto y de algunas etapas. La administración de proyectos a gran escala requiere una coordinación cuidadosa de las actividades interrelacionadas, esto es posible mediante la construcción de “**Redes de Actividades**”.

Se llama red de actividad a la representación gráfica de las actividades que muestran sus eventos, secuencias, interrelaciones y el camino crítico. No solamente se llama *camino crítico* al método sino también a la serie de actividades contadas desde la iniciación del proyecto hasta su terminación, que no tienen flexibilidad en su tiempo de ejecución, por lo que cualquier retraso que sufriera alguna de las actividades de la serie provocaría un retraso en todo el proyecto.

METODO DEL CAMINO CRÍTICO

Definición.

El método del camino crítico es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo.

Dos son los orígenes del método del camino crítico: el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) desarrollado por la Armada de los Estados Unidos de América, en 1957, para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades integrantes de los proyectos espaciales, por la necesidad de terminar cada una de ellas dentro de los intervalos de tiempo disponibles. Fue utilizado originalmente por el control de tiempos del proyecto Polaris y actualmente se utiliza en todo el programa espacial.

El método CPM (Critical Path Method), el segundo origen del método actual, fue desarrollado también en 1957 en los Estados Unidos de América, por un centro de investigación de operaciones para la firma Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método del camino crítico actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

Dentro del ámbito aplicación, el método se ha estado usando para la planeación y control de diversas actividades, tales como construcción de presas, apertura de caminos, pavimentación, construcción de casas y edificios, reparación de barcos, investigación de mercados, movimientos de colonización, estudios económicos regionales, auditorias, planeación de carreras universitarias, distribución de tiempos de salas de operaciones, ampliaciones de fábrica, planeación de itinerarios para cobranzas, planes de venta, censos de población, etc.

El proceso de planeación requiere:

1. Definición del proyecto
2. Realizar Lista de Actividades
3. Elaborar Matriz de Secuencias y Tiempos
4. Construir Red de Actividades
5. Calcular costos de actividades y del proyecto
6. Estimar Compresión de la red
7. Elaborar Gráficas de control
8. Emitir Reportes y análisis de los avances

Fórmulas para triple tiempo estimado:

$$te = (a+4m+b)/6 \quad \sigma^2 = (b-a/6)^2$$

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

- 1) Una clínica está estudiando la ubicación de una nueva instalación en una zona en la que carece de este tipo de servicios médicos primarios. El proyecto implicará construir una nueva clínica y conseguir que sus operaciones sean eficientes. Se ha identificado 11 actividades principales para el proyecto. También han logrado especificar los predecesores inmediatos y la duración correspondientes a cada actividad, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Id#	Nombre de la Tarea	Duración (semanas)	Predecesoras
A	Seleccionar personal administrativo y médico	12	----
B	Seleccionar el lugar y realizar un estudio del mismo	9	----
C	Seleccionar el equipo	10	A
D	Preparar los planos y la distribución física para la construcción definitiva	10	B
E	Llevar los servicios públicos al predio	24	B
F	Entrevistar solicitantes y llenar las plazas de enfermería, personal de soporte, mantenimiento y seguridad.	10	A
G	Comprar equipo y supervisar la entrega del mismo	35	C
H	Construir el hospital	40	D
I	Desarrollar un sistema de información	15	A
J	Instalar el equipo	4	E, G, H
K	Capacitar al personal de enfermería y de soporte	6	F, I, J

Fije la fecha de entrega del proyecto como fecha límite.

- 2) Triple tiempo estimado

Id#	Nombre de la Tarea	a	m	b		
A	Seleccionar personal administrativo y médico	11	12	13		
B	Seleccionar el lugar y realizar un estudio del mismo	7	8	15		
C	Seleccionar el equipo	5	10	15		
D	Preparar los planos y la distribución física para la construcción definitiva	8	9	16		
E	Llevar los servicios públicos al predio	14	25	30		
F	Entrevistar solicitantes y llenar las plazas de enfermería, personal de soporte, mantenimiento y seguridad.	6	9	18		
G	Comprar equipo y supervisar la entrega del mismo	25	36	41		
H	Construir el hospital	35	40	45		
I	Desarrollar un sistema de información	10	13	28		
J	Instalar el equipo	1	2	15		
K	Capacitar al personal de enfermería y de soporte	5	6	7		

TRABAJO PRÁCTICO N° 2

- 1) Una encuesta de opinión implica el diseño del cuestionario (3 días); la impresión de cuestionarios (1 día), la contratación de encuestadores (2 días); capacitación del personal (4 días), la selección de los participantes (1 día), asignación de encuestadores a participantes (1 día); aplicación de la encuesta (5 días) y el análisis de los datos (4 días).
- Construya la red del proyecto y determine la duración.
 - Enumere las actividades críticas y elabore el diagrama de Gantt
- 2) Considere los siguientes datos correspondientes a un proyecto.

ACTIVIDAD	Predecesoras	Duración
A	--	4
B	---	3
C	---	5
D	A, B	3
E	B	6
F:	D, C	4
G:	E, C	8
H:	F, G	12

- Construya la red de proyecto y determine la duración y ruta crítica
 - ¿Cuál es el valor de la holgura para las actividades G, H, e I?
 - Elabore el diagrama de Gantt.
- 3) Considere la siguiente información acerca de una proyecto

ACTIVIDAD	Predecesoras	Duración
A	--	2
B	A	4
C	A	5
D	B	2
E	B	1
F:	B,C	8
G:	D,E	3
H:	F	5
I:	F	4
J:	G,H,I	7

- Construya la red de proyecto y determine la duración y ruta crítica
 - ¿Cuál es el valor de la holgura para las actividades A y D?
 - Elabore el diagrama de Gantt.
- 4) Recientemente le fue asignada la dirección del siguiente proyecto:

Actividad	Predecesor inmediato	Tiempo (días)		
		optimista	Mas probable	Pesimista
A	--	5	8	11
B	--	4	8	11
C	A	5	6	7
D	A	2	4	6
E	B	4	7	10

- Dibuje la red. ¿Cuál es la ruta crítica?
- ¿Cuál es el tiempo esperado para la terminación del proyecto?

- c. Elabore el diagrama de Gantt.
- d. ¿Cuál es la probabilidad de completar el proyecto en 21 días?
- e. ¿Cuál es la probabilidad de completar el proyecto en 17 días?
- 5) La directora académica de la universidad acaba de aprobar los planes para realizar un seminario de capacitación en ventas. Su asistente administrativo ha identificado las diversas actividades relacionadas que existen entre todas ellas y las estimaciones de tiempo (en días) como se especifica en la siguiente tabla:

Actividad	Descripción	Predecesores	A	b	m
A	Diseñar el folleto y el anuncio del curso	---	5	7	8
B	Identificar a los profesores idóneos	----	6	8	12
C	Preparar un plan detallado del curso	-----	3	4	5
D	Enviar el folleto y las solicitudes a los estudiantes	A	11	17	25
E	Enviar solicitudes a los profesores	B	8	10	12
F	Seleccionar al profesor para el curso	C, E	3	4	5
G	Aceptar a los estudiantes participantes	D	4	8	9
H	Seleccionar el texto para el curso	F	5	7	9
I	Pedir y recibir los textos	G, H	8	11	17
J	Preparar el aula para las clases	G	4	4	4

La directora desea inaugurar el seminario dentro de 47 días laborales a partir de hoy. ¿Cuál es la probabilidad de que todo esté listo a tiempo?

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

- 3) Consideraciones de costo para el caso de la clínica. La siguiente tabla presenta datos sobre costos directos y tiempos, y los costos de la intensificación de los mismos para ahorrar tiempo:

Id#	Tiempo Normal	Costo Normal	Tiempo Intensivo	Costo intensivo	Reducción max. de tiempo	Costo de intensif. por semana
A	12	12.000	11	13.000	1	1.000
B	9	50.000	7	54.000	2	7.000
C	10	4.000	5	7.000	5	600
D	10	16.000	8	20.000	2	2.000
E	24	120.000	14	200.000	10	8.000
F	10	10.000	6	16.000	4	1.500
G	35	500.000	25	530.000	10	3.000
H	40	1.200.000	35	1.260.000	5	12.000
I	15	40.000	10	52.500	5	2.500
J	4	10.000	1	13.000	3	1.000
K	6	30.000	5	34.000	1	4.000

El objetivo del análisis de costos consiste en determinar el tiempo de terminación del proyecto con el cual se minimice el total de costos del mismo. Supongamos que los costos indirectos del proyecto sean de Bs. 8.000 por semana. A partir de la semana 65 la clínica incurrirá en un costo de penalización de Bs. 28.000 por semana si la instalación todavía no estuviera en condiciones de funcionar. Con un tiempo de terminación de 69 semanas en la ruta crítica, la clínica se enfrenta a costos de penalización potencialmente cuantiosos. Por cada semana que el proyecto se acorte, hasta la semana 65, la clínica se ahorrará una semana de costos de penalización y también indirectos es decir Bs. 28.000. Para reducciones más allá de la semana 65, los ahorros representan únicamente los costos indirectos semanales de Bs. 8.000. Se debe determinar cuánto se puede añadir en términos de costos intensivos, sin exceder el monto de los ahorros obtenidos por concepto de costos indirectos y penalización.

PROCEDIMIENTO:

Paso 1. Identificar la(s) ruta crítica(s)

Paso 2. Busque la actividad o actividades incluidas en la ruta crítica a las que corresponda el costo de intensificación más bajo por semana.

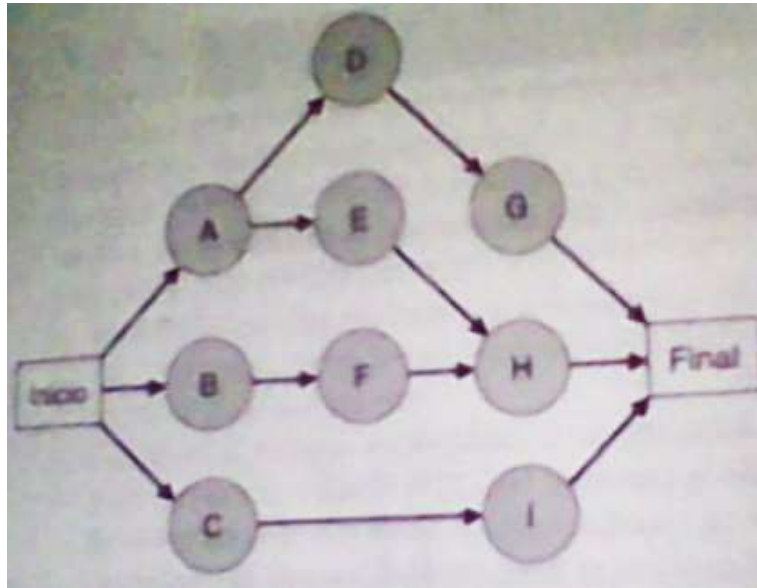
Paso 3. Reducir el tiempo correspondiente a esta actividad hasta que:

- Ya no sea posible reducirlo más
- Otra ruta se convierta en ruta crítica
- El incremento de los "Costos Directos" sea mayor que el monto de los ahorros resultantes del acortamiento del proyecto

Paso 4. Repetir este procedimiento hasta que el incremento de los "Costos Directos". Sea mayor que los ahorros generados por el acortamiento del proyecto.

TRABAJO GRUPAL N°2 ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS - COSTO MÍNIMO

El siguiente diagrama fue desarrollado para un proyecto que el equipo de una Cia. está administrando:



El equipo de trabajo debe encontrar la forma de acelerar el proyecto con un costo adicional mínimo. Determine el programa adecuado para completar el proyecto en 25 días a ese costo mínimo. Los costos de penalización y los costos generales del proyecto son insignificantes. En la siguiente tabla se presentan datos alternativos de tiempo y costos para cada actividad:

Id#	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Tiempo días	Costo Bs.	Tiempo días	Costo Bs.
A	12	1.300	11	1.900
B	13	1.050	9	1.500
C	18	3.000	16	4.500
D	9	2.000	5	3.000
E	12	650	10	1.100
F	8	700	7	1.050
G	8	1550	6	1.900
H	2	600	1	800
I	4	2.200	2	4.000

PROBLEMA COMPLEMENTARIO
PROYECTO DE INSTALACION DE UN NUEVO ESTABLECIMIENTO DE COMIDA RAPIDA

El gerente de un establecimiento de comida rápida de la ciudad de La Paz, tiene a su cargo la tarea de abrir un nuevo establecimiento. Su interés principal consiste en contratar un gerente y un equipo de cocineros, ensambladores y despachadores de hamburguesas. También tendrá que coordinar la renovación de un edificio, cuyo propietario anterior acondicionó como tienda de artículos para mascotas. El gerente ha recopilado los siguientes datos:

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	PRECED	TIEMPO OPTIMISTA (SEMANAS)	TIEMPO MAS PROBABLE (SEMANAS)	TIEMPO PESIMISTA (SEMANAS)
A	Entrevistar estudiantes universitarios para seleccionar un nuevo gerente	---	2	4	6
B	Renovación del edificio	---	5	8	11
C	Colocar anuncios para empleados y solicitantes de entrevistas	---	7	9	17
D	Realizar visitas a los prospectos a nuevos gerentes	A	1	2	3
E	Comprar equipo para el nuevo establecimiento e instalarlo	B	2	4	12
F	Revisar las referencias de los solicitantes de empleo y realizar la selección final	C	4	4	4
G	Revisar las referencias de los solicitantes para gerente y realizar la selección final	D	1	1	1
H	Llevar a cabo reuniones de orientación y efectuar el papeleo para actualizar la nómina de pagos.	E, F, G	2	2	2

El gerente recibió instrucciones para intentar que el nuevo establecimiento inicie operaciones en la fecha más cercana posible. Por cada semana que logre acortar el proyecto, la empresa ahorrará Bs. 1.200 por concepto de costos de arrendamiento. También se estudió la forma de ahorrar tiempo en la realización del proyecto y encontró dos posibilidades al respecto. La primera consistía en contratar a una agencia de empleos para seleccionar prospectos apropiados para ocupar el puesto de gerente. De esta manera lograría ahorrar 3 semanas en la actividad A, pero esto le costará Bs. 2.500. El otro enfoque consistía en añadir unos cuantos trabajadores para acortar el tiempo de la actividad B en dos semanas, pagando un costo adicional de Bs. 2700.

El grupo debe ayudar al gerente a responder las siguientes preguntas

- 1) ¿Cuál es la duración esperada de este proyecto?
- 2) ¿Cuál es la probabilidad de completar el proyecto en 14 semanas?
- 3) ¿Qué gastos adicionales habría que hacer para reducir la duración del proyecto?. Use el tiempo esperado de cada actividad como si no existiera incertidumbre al respecto
- 4) Elabore el diagrama de Gantt

TEMA III: TEORIA DE LINEAS DE ESPERA

Competencias educativas:

1. Reconoce problemas relacionados a líneas de espera

Competencias instructivas:

1. Identifica características de operaciones de problemas de filas.
2. Aplica métodos de colas a los casos propuestos mediante un análisis crítico
3. Describe como se usan los modelos de filas de espera para la toma de decisiones administrativas

Filas de Espera

Cualquiera que haya tenido que esperar en un banco, en un mostrador de comida rápida o en una oficina del registro civil, ha vivido la dinámica de las filas de espera. Tal vez uno de los mejores ejemplos de administración eficaz de filas de espera sea el de Walt Disney World. Es posible que un día lleguen solamente 25,000 visitantes, pero al día siguiente pueden arribar 90,000. Un análisis cuidadoso de los flujos de procesos, la tecnología correspondiente al equipo para el traslado de personas, la capacidad y la distribución física, permite a esta organización mantener niveles aceptables de los tiempos de espera para el público que desea entrar a las diversas atracciones.

Modelos de filas de espera

Las filas de espera se forman porque el tiempo de atención a un cliente o trabajo es mayor que el tiempo entre llegadas. El análisis de filas de espera afecta el diseño, planificación de la capacidad, la distribución de espacios, administración de inventarios y programación.

Una fila de espera es la hilera formada por uno o varios "clientes" que aguardan para recibir un servicio. La fila se forma porque los clientes llegan a intervalos imprevisibles.

La variabilidad de la tasa de demanda determina la longitud de las filas de espera. Si no hay variabilidad de las tasas de demanda o servicio y se cuenta con la capacidad suficiente no se formarán filas de espera.

Los modelos de filas de espera tienen 4 elementos comunes:

- a) Población de clientes: que generan clientes potenciales. Esta población puede ser finita o infinita
- b) Fila de espera formada por los clientes, la cual puede ser fila única o filas múltiples
- c) Instalación de servicio, para proveer el servicio que requiere el cliente. La instalación puede ser:
 - De un canal y una fase, por ejemplo una máquina para procesar varios lotes
 - De un canal y múltiples fases, por ejemplo Mc Donald
 - De múltiples canales y una fase, por ejemplo un banco
 - De múltiples canales y múltiples fases, por ejemplo lavado de ropa
 - Servicios con secuencias únicas, como los de los procesos intermitentes
- d) Regla de prioridad, que selecciona al cliente que será atendido según los criterios:
 - Primero en llegar primero en ser atendido
 - Fecha prometida de vencimiento más próxima
 - Tiempo de procesamiento más corto

Como la llegada de los clientes y los tiempos de servicio son aleatorios, producen una fuente de variación en las filas de espera la cual puede describirse mediante una distribución de probabilidad.

Distribución de llegadas

La llegada de clientes a las instalaciones de servicio es aleatoria. La variabilidad en los intervalos de llegada de los clientes a menudo se describe por medio de una curva de distribución de Poisson, la cual especifica la probabilidad de que n clientes lleguen en T periodos de tiempo:

$$P(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad \text{Para } n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{y } e = 2.7183\dots$$

Dónde: - P(n) = probabilidad de n llegadas en T periodos de tiempo

- λ = número promedio de llegadas de clientes por periodo

Ejemplo 1. El número de tarros de cerveza pedidos en un Pub sigue una distribución de Poisson con promedio de 30 cervezas por hora.

- Calcule la probabilidad de que se pidan exactamente 60 cervezas entre las 10 p.m. y las 12 de la noche.
- Determine el promedio y la desviación estándar del número de cervezas pedidas entre las 9 p.m. y la 1 a.m.

Distribución del tiempo de servicio

La distribución exponencial describe la probabilidad de que el tiempo de servicio del cliente en una instalación determinada no sea mayor que T periodos de tiempo, es decir:

$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$ Donde: μ = promedio de clientes que completan el servicio en c/ T periodos

t = tiempo de servicio al cliente

T = tiempo de servicio propuesto como objetivo

Ejemplo 2. En una fábrica del sector textil, una máquina puede bordar en promedio 4 prendas cada hora. ¿Cuál es la probabilidad que una prenda requiera menos de 12 minutos de esa operación?

Los modelos de filas de espera que ayudan a los gerentes de operaciones en la toma de decisiones son:

- Modelo con un servidor
- Modelo con múltiples servidores
- Modelo con fuente finita

Todos ellos con una sola fase

Modelo con un servidor

Es el más sencillo ya que consta de un solo servidor y una sola fila de espera. Este modelo se especifica bajo las siguientes suposiciones:

- Población infinita y clientes pacientes
- Los clientes llegan de acuerdo con un distribución poisson
- La distribución del servicio es exponencial
- A los clientes que llegan primero se les atiende primero
- La longitud de la fila es ilimitada

Según esto las características de operación del sistema son:

- | | |
|---|-------------------------------|
| a) Utilización promedio del sistema (ρ): | $\rho = \lambda / \mu$ |
| b) Probabilidad que n clientes estén en el sistema (P_n): | $P_n = (1 - \rho) \rho^n$ |
| c) Promedio de clientes en el sistema de servicio (L): | $L = \lambda / \mu - \lambda$ |
| d) Promedio de clientes en la fila de esperan (L_q): | $L_q = \rho L$ |
| e) Tiempo promedio en el sistema incluido el servicio (W): | $W = 1 / \mu - \lambda$ |
| f) Tiempo promedio de espera en la fila (W_q): | $W_q = \rho W$ |

Modelo con múltiples servidores

En este modelo los clientes forman una sola fila y escogen entre "s" servidores el que esté disponible. Además de las suposiciones realizadas en el modelo anterior se agregan las siguientes:

- Los s servidores son idénticos
- La distribución del servicio de cada servidor es exponencial con parámetro μ

Las características de operación del sistema son:

- | | |
|---|---|
| a) Utilización promedio del sistema (ρ): | $\rho = \lambda / s\mu$ |
| b) Probabilidad que haya 0 clientes en el sistema P_0 : | $P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} (\lambda/\mu)^n / n! + (\lambda/\mu)^s / s! (1/(1-\rho)) \right]^{-1}$ |
| c) Probabilidad que haya n clientes en el sistema P_n : | $P_n = [(\lambda/\mu)^n / n!] P_0 \quad 0 < n < s$ |

- d) Promedio de clientes en la fila L_q :
$$P_n = [(\lambda/\mu)^n / s! s^{(n-s)}] P_0 \quad n \geq s$$

$$L_q = P_0 (\lambda/\mu)^s \rho / s! (1-\rho)^2$$
- e) Tiempo promedio de espera para los clientes en la fila W_q :
$$W_q = L_q / \lambda$$
- f) Tiempo promedio transcurrido en el sistema, incluido el servicio W :
$$W = W_q + 1/\mu$$
- g) Número promedio de clientes en el sistema de servicio L :
$$L = \lambda W$$

Modelo con fuente finita

En este caso la población de clientes es finita, porque sólo existen N clientes potenciales. Si N es mayor que 30 clientes, resulta adecuado el modelo con un solo servidor, sobre la suposición de que la población de clientes sea infinita. En los demás casos, el modelo con fuente finita es el que más conviene.

Las características de operación del sistema son:

- a) Probabilidad que haya 0 clientes en el sistema P_0 :
$$P_0 = \frac{N!}{\sum_{n=0}^N (N-n)! (\lambda/\mu)^n}^{-1}$$
- b) Utilización promedio del servidor:
$$\rho = 1 - P_0$$
- c) Número promedio de clientes en la fila L_q :
$$L_q = N - [(\lambda + \mu) / \lambda] (1 - P_0)$$
- d) Número promedio de clientes en el sistema L :
$$L = N - \mu / \lambda (1 - P_0)$$
- e) Tiempo promedio de espera en la fila W_q :
$$W_q = L_q [(N-L)\lambda]^{-1}$$
- f) Tiempo promedio en el sistema W :
$$W = L [(N-L)\lambda]^{-1}$$

Ejemplos de aplicación

- 1) A un cajero bancario o automático sólo llega un promedio de 10 vehículos por hora. Suponga que los tiempos promedio de servicio para cada cliente es 4 minutos, y que los tiempos entre llegadas y los de servicio son exponenciales. Conteste las siguientes preguntas:
 - a) En promedio, ¿cuántos clientes por hora serán atendidos por el cajero automático?
 - b) ¿Cuál es la utilización de los servicios del cajero?
 - c) ¿Cuál es la probabilidad de que el cajero automático se encuentre vacío?
 - d) ¿Cuál es el número promedio de automóviles que esperan en la cola su turno? Se considera que un vehículo que está ocupando el cajero automático, no está en la cola esperando.
 - e) ¿Cuál es el tiempo promedio que un cliente pasa en el estacionamiento del banco, incluyendo el tiempo en el servicio?

- 2) El supervisor de una empresa textil está preocupada por el tiempo que las máquinas remalladoras permanecen ociosas, en espera de prendas para bordar. La fábrica cuenta con 3 máquinas. Cada una de éstas requiere un empleado para la operación y cada empleado tiene una tarifa de Bs. 25 por hora. Los empleados que no están trabajando en las máquinas remalladoras pueden asignarse a otras tareas productivas. El costo estimado de una máquina ociosa es de Bs. 40 por hora. Las prendas llegan a las máquinas a un ritmo de 3 por hora, siguiendo una distribución Poisson. En promedio una máquina puede bordar una prenda en 25 minutos, y los tiempos de servicio son exponenciales. ¿cuál es el costo total por hora de la operación de estas máquinas?

- 3) El semestre pasado la universidad (UNIFRANZ) instaló un conjunto de 15 data show en algunas aulas. El mes pasado la atención se ha enfocado en el mantenimiento. La U no aplica el mantenimiento preventivo a estos equipos, en virtud de la variabilidad que se observa en la distribución de las averías. Cada equipo tiene una distribución exponencial de averías (ó distribución entre llegadas), con un tiempo promedio de 100 horas entre una y otra falla. Cada hora "data" perdida como tiempo ocioso cuesta Bs. 45, lo cual significa que la U tiene que reaccionar con rapidez en cuanto falla un equipo. La U contrata sólo a una persona de mantenimiento, quien necesita 3 horas en promedio para reparar un equipo. Los tiempos de mantenimiento están distribuidos exponencialmente. La tasa de salarios es de Bs. 19 por hora para el encargado de mantenimiento, el cual puede dedicarse productivamente a otras actividades cuando no hay equipos que reparar. Calcule el costo diario por concepto de tiempo ocioso de la mano de obra y los equipos. Considerando que solo 15 datas constituyen la población de clientes y las demás suposiciones del modelo se cumplen.

TRABAJO PRÁCTICO N° 3

- 1) En las oficinas del SEGIP, cuando mucho ocurre una llegada durante un intervalo de 3 minutos. Determine lo siguiente:
 - a) El número promedio de llegadas durante la próxima hora.
 - b) La probabilidad de que no ocurra ninguna llegada durante las siguientes 2 horas
 - c) La probabilidad de que al menos ocurra 3 llegadas durante la próxima hora.
- 2) El tiempo entre llegadas de los pacientes a un centro de salud es exponencial con media 10 minutos.
 - a) ¿Cuál es la tasa de llegadas por hora?
 - b) ¿Cuál es la probabilidad de que ningún paciente llegue al centro durante los siguientes 10 minutos?
 - c) ¿Cuál es la probabilidad de que al menos 2 pacientes lleguen al centro durante los siguientes 20 minutos?
- 3) La biblioteca de la universidad recibe libros de acuerdo con una distribución de Poisson con media 30 libros por mes. Cada repisa en la estantería contiene 50 libros. ¿Cuántas repisas en promedio se utilizarán con libros nuevos en un año?.
- 4) Se sabe que el tiempo entre fallas de un refrigerador Kenmore es exponencial con valor medio 9000 horas (alrededor de un año de operación) y la compañía expide una garantía de 1 año para el refrigerador. ¿Cuáles son las posibilidades de que la reparación de una falla sea cubierta por la garantía?
- 5) El tiempo entre llegadas en a la ventanilla de una sucursal bancaria es exponencial con media 3 minutos. La sucursal abre al público a las 10:00 a.m. Determine lo siguiente:
 - a) La probabilidad de tener 15 clientes en el banco a las 10:15 a.m. dado que hubo 10 a las 10:10 a.m.
 - b) La probabilidad de que llegue un nuevo cliente entre las 10:30 y las 10:35 a.m. dado que el último cliente llegó a las 10:30 a.m.
- 6) Suponga que los nacimientos en un país están separados en el tiempo, de acuerdo con una distribución exponencial, presentándose un nacimiento cada 7 minutos en promedio.
 - a) ¿Cuál es la tasa de nacimientos en el país por día?
 - b) ¿Cuál es el número de nacimientos en el país por año?
 - c) Calcule la probabilidad de que ningún nacimiento ocurra en cualquier día
 - d) Calcule la probabilidad de que ocurran por lo menos 4 nacimientos en un período de 3 horas
- 7) Determine el número mínimo de servidores paralelos necesarios en cada una de las siguientes situaciones (llegada/salida de Poisson) para garantizar que la operación de la situación de colas será estable (es decir la longitud de la cola no crecerá indefinidamente):
 - a) Los clientes llegan cada 7 minutos y los atienden a razón de 8 clientes por hora
 - b) El tiempo promedio entre llegadas es de 4 minutos y el tiempo de servicio promedio es de 9 minutos
 - c) La tasa de llegadas es de 35 clientes por hora y la tasa de servicio por servidor es de 20 clientes por hora

TRABAJO PRÁCTICO N° 4
Modelos de filas de espera

- 1) Los autos llegan a un servicio de lavado de autos de acuerdo con una distribución de Poisson, con una media de 20 autos por hora. El tiempo de lavado es exponencial con media de 10 minutos por vehículo. Últimamente los clientes se han quejado por el prologado tiempo de espera para recibir el servicio de lavado. A tal efecto el gerente de operaciones del servicio está dispuesto a reducir el tiempo de lavado mediante la automatización de una parte del proceso siempre que se satisfagan dos condiciones: (1) el número promedio de autos en espera en el sistema actual exceda 6 unidades y (2) el porcentaje del tiempo inactivo del lavadero no exceda el 10%. ¿Se puede justificar la automatización del proceso?
- 2) En la oficina central de la Aduana el encargado de informaciones atiende a los importadores no habituales a una tasa promedio de 15 por hora. Los importadores llegan a esta oficina a una tasa promedio de 25 por hora, según una distribución de Poisson.
 - a) ¿Cuál es la utilización de esta oficina de informaciones?
 - b) ¿Cuánto tiempo pasará en promedio el importador en la oficina de informaciones?.
 - c) ¿Cuál es la probabilidad de que la oficina este vacía?
 - d) ¿Cuántos importadores hay en promedio en esta oficina?
- 3) Un restaurante de comida rápida tiene una ventanilla de servicio para autos. Los autos llegan de acuerdo con una distribución de Poisson con una tasa de 5 autos cada 10 minutos. El espacio frente a la ventanilla puede acomodar a lo sumo 8 autos, incluido el que está siendo atendido. Si es necesario, otros vehículos pueden esperar fuera de este espacio. El tiempo de servicio por cliente es exponencial, con una media de 2 minutos. Determine lo siguiente:
 - a) La probabilidad de que las instalaciones estén ociosas.
 - b) El número esperado de clientes que esperan el servicio.
 - c) El tiempo de espera estimado para que un cliente llegue a la ventanilla y haga un pedido.
 - d) La probabilidad de que la línea de espera exceda los 8 espacios de capacidad.
- 4) Suponga un restaurante de comidas rápidas al cual llegan en promedio 100 clientes por hora. Se tiene capacidad para atender en promedio a 150 clientes por hora. Se sabe que los clientes esperan en promedio 2 minutos en la cola. Calcule las medidas de desempeño del sistema.
 - a) ¿Cuál es la probabilidad que el sistema este ocioso?
 - b) ¿Cuál es la probabilidad que un cliente llegue y tenga que esperar, porque el sistema está ocupado?
 - c) ¿Cuál es el número promedio de clientes en la cola?
 - d) ¿Cuál es la probabilidad que hayan 10 clientes en la cola?
- 5) El departamento de policía de la ciudad de Oruro tiene 6 patrullas. Una patrulla se descompone de acuerdo con una distribución Poisson y requiere servicio una vez cada 20 días. El Taller de mantenimiento tiene 1 mecánico que requiere 4 días para reparar una patrulla, el tiempo de reparación responde a una distribución exponencial. Los tiempos de descompostura y los tiempos de reparación son exponenciales. Determine las características de operación del Taller.
- 6) En el caso del departamento de policía, se requiere determinar el costo diario del taller de mantenimiento de las patrullas. El mecánico asignado encargado del taller tiene un salario mensual de Bs. 2650, (incluido aportes sociales, antigüedad y bonos). Además las patrullas que permanecen en el taller de mantenimiento generan un costo de penalización a la policía de Bs. 150 por cada día que están inactivos.
 - a) Calcule el costo total de operación, por día, del Taller de mantenimiento.
 - b) Las autoridades han pedido al departamento de policía reducir el costo diario de este taller, por lo que se está considerando asignar al mecánico otras tareas dentro del departamento de policía las cuales las debe cumplir siempre y cuando no existan patrullas en el taller para reparación. Con esta política ¿cuál será el ahorro diario del taller?
- 7) Un café internet muy concurrido del centro de la ciudad cuenta con un total de 15 computadoras para prestar el servicio. Debido a la falta de un plan de mantenimiento preventivo en estos equipos, en los últimos meses se han producido más fallas de las esperadas. El encargado de administración necesita saber cuál es el costo mensual del sistema de mantenimiento de estos equipos. Se sabe que cada mes, en promedio, 2 computadoras quedan fuera de servicio de acuerdo con una distribución

Poisson, y son enviadas a mantenimiento. El internet cuenta con un técnico de reparación, el cual, además de reparar las computadoras tiene asignadas otras tareas de servicio al cliente. El técnico tiene un sueldo mensual de Bs. 2.000 (considerando aportes y beneficios sociales). Cada computadora que está en reparación y fuera de servicio genera un costo de oportunidad de Bs. 45 por cada día inactivo. Se sabe que en promedio el tiempo de reparación sigue una distribución exponencial con una media de 1 día por computadora. El internet presta servicio 24 días al mes.

- a) Determine las características de operación del sistema de mantenimiento de computadoras
 - b) Calcule el costo total mensual del sistema de mantenimiento de computadoras
- 8) Un banco tiene dos cajeros. Llegan al banco un promedio de 80 clientes por hora y esperan en una sola cola para que los atiendan. El tiempo promedio que se necesita para atender a un cliente es 1.2 minutos. Suponga que los tiempos entre llegadas y los de servicio son exponenciales. Indique las características de operación del banco
- 9) La oficina de correos tiene 3 ventanillas abiertas. Los clientes llegan de acuerdo con una distribución de Poisson a razón de 1 cada 2 minutos. El tiempo de servicio por cliente es exponencial, con una media de 4 minutos. Todos los clientes que llegan forman una cola y se acercan a una ventanilla disponible sobre una base FCFS.
- a) ¿Cuál es la utilización de este sistema?
 - b) ¿Cuánto tiempo esperan en promedio los clientes?
 - c) ¿Cuánto tiempo en promedio permanecen en la oficina de correos
 - d) ¿Cuál es la longitud promedio de la cola de espera?
- 10) Un centro de fotocopiado cuenta con 4 máquinas para prestar este servicio. Los trabajos llegan al centro de acuerdo con una distribución Poisson con una media de 250 páginas cada hora. El tiempo promedio de fotocopiado por página es de 0,8 minutos distribuido exponencialmente. El costo de operación de cada fotocopidora es de Bs. 25 por hora. Cuando un nuevo trabajo llega al centro y están ocupadas las 4 máquinas los clientes buscan otro centro para recibir el servicio, se ha estimado que el costo de cada cliente que deserta por estar el sistema ocupado es de Bs. 9 por hora.
- a) Determine las características de operación del centro de fotocopiado
 - b) El dueño del centro últimamente ha recibido muchas quejas de los clientes que tienen que esperar por el servicio. A tal efecto está considerando la posibilidad de agregar una nueva máquina. Para decidir la implementación de la 5 máquina, está estudiando los costos de operación por hora del centro y ha establecido que si el costo de operación del centro con 5 máquinas supera en 2% al costo de operación del centro con 4 máquinas, no es factible la implementación. ¿Aconsejaría al dueño implementar la 5ª máquina?

TRABAJO GRUPAL N° 3

SOLUCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE FILAS EN UNA CANTERA

Una cantera provee arena y agregados de piedra para las obras de construcción de una gran empresa constructora de la ciudad de La Paz. Los camiones vacíos procedentes de los diversos sitios de construcción llegan hasta los enormes montones de arena y agregados de piedra y esperan en fila para entrar a la estación, en la cual pueden cargar ya sea arena o agregados. En la estación, un operario carga el camión luego se pesan los vehículos, se registra su salida y parten hacia la obra en construcción correspondiente. Actualmente cada hora llegan 9 camiones vacíos, en promedio. Una vez que un camión ha entrado en una estación de carga, tarda 6 minutos en ser llenado, pesado y registrado para salir. El costo de esta operación es de Bs.35 por hora, se ha estimado que el costo de un camión ocioso (un camión que permanece en la cantera) es de 20 Bs. por hora.

Ante la preocupación de que los camiones pasen demasiado tiempo en la fila de espera y en la operación de carga, El gerente de operaciones de la empresa ha decidido evaluar dos alternativas para reducir el tiempo promedio que pasan los camiones en el sistema.

ALTERNATIVA 1

La primera alternativa consiste en instalar costados laterales en los camiones (de modo que sea posible cargar en ellos más material) y contratar a un ayudante para la estación de carga (para reducir el tiempo de operación), todo lo cual requiere una inversión total de Bs. 10.000. Con esto la tasa de llegada de los camiones podría modificarse a 6 por hora y el tiempo de carga podría reducir a 4 minutos. El costo de operación se incrementará a Bs. 45 por hora.

ALTERNATIVA 2

La segunda alternativa consiste en agregar otra estación de carga, con una inversión total de Bs. 25.000. Los camiones esperarían en una fila común y el que estuviera al frente de la fila avanzaría a la siguiente estación disponible. Manteniendo con esto el costo de operación y de camiones ociosos del sistema actual.

- 1) Como el objetivo del gerente es reducir el tiempo promedio de espera actual en el sistema, ¿Qué alternativa recomendarían a la empresa?
- 2) Ante la presentación de estas alternativas para la aprobación del directorio de la Cia., este ha establecido que independientemente de la inversión inicial, aprobarán aquella alternativa que tenga el menor costo de operación por hora. ¿Qué alternativa resultará aprobada por el directorio?

TEMA IV: TEORIA DE JUEGOS

Competencias educativas:

1. Reconoce situaciones de competencia en el ámbito organizacional y de sistemas

Competencias instructivas:

1. Define estrategias de juegos y construye matrices
2. Utiliza métodos de solución destinados a seleccionar la mejor estrategia para una de las partes en competencia

Juego de dos personas con suma cero.

Se denomina de dos personas porque participan dos partes y suma cero porque todo lo que pierde un jugador lo gana el otro.

Elementos de juego.

- Estrategias del jugador I
- Estrategias del jugador II
- Matriz de pagos

Las estrategias son las acciones de cada jugador para el juego

La matriz de pagos muestra la ganancia (+ ó -) que resultaría con cada combinación de estrategias para el jugador I. La matriz de pagos para el jugador II es el opuesto de la del jugador I.

Técnica de estrategia dominada

Consiste en eliminar estrategias inferiores, una estrategia se puede eliminar cuando está dominada por otra. El procedimiento consiste en reducir al máximo la matriz de pagos.

Valor de juego "v"

Es el pago que recibe el jugador I cuando ambos eligen estrategias óptimas. Si el valor de juego es $v = 0$ el juego se denomina "juego justo".

Criterio Minimax

Cada jugador elige la estrategia que minimiza su pérdida máxima. Consiste en determinar el valor maximin para el jugador I y el valor minimax para el jugador II. Si $\text{maximin} = \text{minimax}$ este se denomina punto silla. Si existe punto silla se dice que la solución es estable, ningún jugador puede aprovechar la estrategia de su oponente para mejorar su situación.

No todos los juegos tienen punto silla.

Juegos con estrategias mixtas

Técnica utilizada para juegos sin punto silla. Es necesario asignar una distribución de probabilidades sobre un conjunto de estrategias.

X_i = probabilidad que el jugador I use su estrategia i

Y_j = probabilidad que el jugador II use su estrategia j

Para determinar la distribución de probabilidades asociada a las estrategias se tiene:

1. Métodos Gráfico
2. Método simplex

Métodos Gráfico

Se puede usar siempre que uno de los dos jugadores tenga solo 2 estrategias puras (no dominadas). El procedimiento consiste en graficar el pago esperado para el jugador I suponiendo que el jugador II juega estrategias puras.

Método simplex

Un juego con estrategia mixta se puede transformar en un problema de programación lineal. La solución óptima del modelo de programación lineal proporciona la estrategia mixta para cada jugador.

Inconvenientes:

- Se desconoce el valor de juego v
- El modelo de programación lineal no tiene función objetivo

Para salvar esto se puede sustituir v por la variable $X_{(n+1)}$, siendo n : número de estrategias de I jugador I y así la función objetivo será $\text{Max } X_{(n+1)}$

Por otro lado dadas las estrategias puras del jugador II sabemos que el pago esperado para el jugador I es:

$\sum_{i=1}^{i=n} p_{ij}X_i \geq n$ estas son restricciones

Modelo de PL para el jugador I Max $X_{(n+1)}$
 s.a $p_{11}X_1 + p_{21}X_2 + \dots + p_{n1}X_n - X_{(n+1)} \geq 0$
 $p_{12}X_1 + p_{22}X_2 + \dots + p_{n2}X_n - X_{(n+1)} \geq 0$

 $p_{1m}X_1 + p_{2m}X_2 + \dots + p_{nm}X_n - X_{(n+1)} \geq 0$
 $X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1$
 $X_j \geq 0$

Modelo de PL para el jugador II Min $Y_{(n+1)}$
 S.a $p_{11}Y_1 + p_{12}Y_2 + \dots + p_{1m}Y_m - Y_{(m+1)} \leq 0$
 $p_{21}Y_1 + p_{22}Y_2 + \dots + p_{2m}Y_m - Y_{(m+1)} \leq 0$

 $p_{n1}Y_1 + p_{n2}Y_2 + \dots + p_{nm}Y_m - Y_{(m+1)} \leq 0$
 $Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n = 1$
 $Y_j \geq 0$

Este problema es el dual del problema del jugador I, se puede encontrar las estrategias mixtas para los dos jugadores al resolver un solo problema.

Ejemplo de aplicación 1.

Supongamos que en cierto proceso electoral hay un aspecto referente a cual de dos ciudades (A o B) le será construido un sistema de transporte masivo. Hay solo dos candidatos a la presidencia y cada uno de estos debe anunciar a cuál de las dos ciudades se compromete a construirle el sistema de transporte, o evadir el tema en sus apariciones públicas. Cada candidato busca obtener el mayor porcentaje posible de los votos de las dos ciudades. Los votantes de las demás ciudades son indiferentes respecto al tema. La siguiente tabla muestra el porcentaje de votos ganados por el candidato 1, para las distintas combinaciones de estrategias:

Estrategia 1: construir el sistema de transporte masivo en A

Estrategia 2: construir el sistema de transporte masivo en B

Estrategia 3: evadir el tema en sus apariciones públicas

		Candidato 2		
		Estrategias	1	2
Candidato 1	1	45%	50%	40%
	2	60%	55%	50%
	3	45%	55%	40%

Ejemplo de aplicación 2.

Considerar la siguiente variación en el ejemplo 1. Se ha sugerido a los candidatos una cuarta estrategia:

Estrategia 4: construir el sistema de transporte masivo en ambas ciudades

		Candidato 2			
		Estrategias	1	2	3
Candidato 1	1	45%	50%	40%	30%
	2	60%	55%	50%	40%
	3	45%	55%	40%	40%
	4	50%	45%	20%	35%

Ejemplo de aplicación 3.

Suponga ahora que los resultados de campaña dieron los siguientes resultados:

		Candidato 2			
		1	2	3	4
Candidato 1	Estrategias				
	1	30%	50%	40%	-10%
	2	25%	45%	50%	40%
	3	50%	60%	45%	50%
		65%	45%	55%	40%

Ejemplo complementario

Suponga ahora que en el proceso electoral se ha presentado la siguiente matriz de juego:

		Candidato 2			
		1	2	3	4
Candidato 1	Estrategias				
	1	40%	50%	40%	10%
	2	25%	45%	55%	40%
	3	50%	60%	45%	50%
		65%	45%	55%	40%

Indique que estrategia debe seleccionar cada candidato y el valor de juego

TRABAJO PRÁCTICO N° 5

- 1) Resuelva los siguiente juegos matriciales, en cada caso indique las estrategias de cada jugador y el valor de juego respectivo..

a)

Estrategias	B1	B2
A1	3	8
A2	4	5

b)

Estrategias	B1	B2	B3
A1	-2	-2	-1
A2	1	5	-2
A3	5	3	0

c)

Estrategias	B1	B2	B3
A1	-1	3	-3
A2	2	0	3
A3	2	1	0

- 2) La Empresa CI, después de seguir consejo y haber conseguido resultados óptimos, decide consultar la estrategia a seguir para competir con la empresa DII. Ha desarrollado un modelo de pronósticos de ventas de cada uno de los productos de su empresa, en función de sus decisiones y las de la empresa DII. Estos datos los han recogido en la matriz de pago que se muestra a continuación:

CI	DII			
	B1	B2	B3	B4
A1	50	20	120	-50
A2	60	20	70	60
A3	-20	0	-40	60

¿Cuál es el informe que debe presentar a la empresa CI? Describir su estrategia, la de DII y el valor del juego.

- 3) Dos compañías A y B fabrican 2 marcas de televisores. La compañía A se anuncia en radio, televisión y periódicos. La compañía B además de utilizar radio televisión y periódicos también manda por correos folletos. Dependiendo del ingreso y la intensidad de la campaña publicitaria, cada compañía puede capturar una porción del mercado de la otra. La siguiente matriz resume el porcentaje del mercado capturado o perdido por la compañía A

Estrategias	R	T	P	F
R	3	-2	-4	0
T	-4	2	-1	7
P	2	-5	-4	1

Determine qué estrategia debe seleccionar cada compañía y que porcentaje de mercado gana o pierde cada una.

- 4) Dos equipos A y B están preparando sus estrategias para el campeonato nacional de básquet. Al evaluar las fuerzas de sus respectivas bancas cada entrenador obtiene cuatro estrategias para rotar a sus jugadores durante el juego. La habilidad de cada equipo en anotar canastas de 2 puntos y de 3 puntos y tiros libres es un factor clave en la determinación del marcador final del juego. La siguiente tabla resume los puntos netos que el equipo A anotará por posesión como función de las diferentes estrategias contempladas por cada equipo:

Estrategias	B1	B2	B3	B4
A1	2	-5	1	3
A2	8	7	4	-3
A3	3	-2	0	2
A4	4	1	-1	2

- a) Resuelva el juego con programación lineal, y determine una estrategia para el juego de campeonato
b) Con base a la información dada, ¿Cuál de los dos equipos se proyecta como el ganador del campeonato?

TRABAJO GRUPAL N° 4**COMPETENCIA DE 2 BANCOS EN DOS CIUDADES DEL PAIS****CIUDAD A**

Dos bancos del sistema (llámense Banco MN y Banco CB), compiten por atraer el mayor número de cuenta habientes en una ciudad (Ciudad A) del occidente del país: Para el logro de su objetivo cada uno aplica las estrategias siguientes:

1. Sorteo de electrodomésticos
2. Tasa de interés más alta
3. Sorteo de dinero en efectivo

Si el segundo banco ofrece sorteo de electrodomésticos atrae 200 cuenta habientes más que el primero, cuando este ofrece lo mismo, 1000 más cuando el primero ofrece tasa de interés mas alta y 800 menos cuando el primero ofrece sorteo de dinero en efectivo. Si el segundo banco ofrece una tasa de interés más alta atrae 1300 más cuando el primero ofrece sorteo de electrodomésticos, 700 más cuando el primero ofrece lo mismo y 900 menos cuando el primero ofrece sorteo de dinero en efectivo. Si el segundo banco ofrece sorteo de dinero en efectivo atrae 2000 menos cuando el primero ofrece sorteo de electrodomésticos, 1500 más cuando el primero ofrece tasa de interés más alta y 850 menos cuando el primero ofrece lo mismo.

- 1) ¿Qué banco es el ganador del juego?
- 2) ¿Qué estrategia debe aplicar cada banco?
- 3) ¿Cuántos cuenta habientes atrae más el banco ganador?

CIUDAD B

Los bancos pretenden aplicar las mismas estrategias en otra ciudad del país (ciudad B), y un estudio ha establecido que la única variante en la atracción de cuenta habientes es la siguiente: si el primer banco ofrece sorteo de dinero en efectivo y el segundo sorteo de electrodomésticos, el segundo banco atrae 700 cuenta habientes más que el primero.

¿Cuáles serán las nuevas respuestas?

Un árbol de decisión es un modelo esquemático de las alternativas disponibles y de las posibles consecuencias de cada una.

- 4) Un minorista tiene que decidir si la instalación que construirá en una nueva localización será grande o pequeña. La demanda en ese lugar puede ser baja o alta, con probabilidades estimadas en 0.7 y 0.3 respectivamente. Si se construye una instalación pequeña y la demanda resulta ser alta, el gerente podrá elegir entre no ampliar dicha instalación (rédito Bs. 123,000) o ampliarla (rédito = Bs. 170,000). Si construye una instalación pequeña y la demanda es baja, no habrá razón para expandirse y el rédito será Bs. 100,000. Si se construye una instalación grande y la demanda resulta baja, las opciones son no hacer nada (Bs. 10,000) o estimular la demanda por medio de publicidad local. La respuesta a esa publicidad puede ser modesta o intensa, con probabilidades estimadas en 0.6 y 0.4, respectivamente. Si la respuesta es modesta, el rédito estimado será de solamente Bs. 30,000; el rédito se incrementaría a Bs. 120,000 si la respuesta fuera intensa. Finalmente, si se construye una instalación grande y la demanda resulta ser alta, el rédito será de Bs. 700,000. Dibuje un árbol de decisiones. Analícelo después para determinar el rédito esperado de cada nodo de decisión y de evento. ¿Qué alternativa tiene el más alto rédito esperado: la construcción de una instalación pequeña o la construcción de una instalación grande?

Técnicas cuantitativas para la toma de decisiones

Las técnicas que se presentan para esta situación son:

- Análisis del punto de equilibrio
- Matriz de preferencias

10.1. Análisis del punto de equilibrio

Este análisis permite seleccionar entre distintas alternativas de procesos o tecnologías, tomando como base los costos totales de producción. También puede emplearse para hacer comparaciones entre distintos métodos de producción calculando el volumen en el cual los procesos diferentes tienen costos totales iguales.

Cabe destacar que este método resulta útil solo cuando los costos de producción son relevantes en el proceso o tecnología porque ignora otros factores que pueden influir en la selección.

10.2. Matriz de preferencias

Es una tabla que permite al gerente clasificar cada alternativa de acuerdo con varios criterios de rendimiento. Los criterios se clasifican con una escala conveniente y cada clasificación se pondera de acuerdo a su importancia, y típicamente el total de esas ponderaciones es 100. El gerente compara los puntajes de las distintas alternativas, ya sea unos con otros o con un umbral determinado.

La matriz de preferencias es una metodología de criterio más amplio, ya que basa la decisión en varios criterios y no solo en costos de producción como en el caso anterior.

Ejemplos de aplicación.

- 1) La compañía RM fabrica actualmente un artículo con costos variables de Bs.7,00 por unidad. Los costos fijos anuales de la manufactura de ese artículo son de Bs.125.000. El precio de venta actual del artículo es de Bs.12,00 por unidad, y el volumen de ventas anual es de 30,000 unidades. RM podría mejorar sustancialmente la calidad del artículo mediante la instalación de un nuevo equipo, con un cargo adicional de Bs.20.000 por costos fijos anuales. Los costos variables por unidad aumentarían en Bs.2,00, pero, como sería posible vender en mayor cantidad el producto de mejor calidad, el volumen anual ascendería a 45,000 unidades. ¿Deberá comprar RM el nuevo equipo y mantener el precio actual del artículo? ¿Por qué sí o por qué no?
En forma alternativa, TC podría incrementar el precio de venta a Bs.15.00 por unidad. Sin embargo, el volumen de ventas anual quedaría limitado a 35,000 unidades. ¿Deberá comprar RM el nuevo equipo y elevar el precio del artículo? ¿Por qué sí o por qué no?
- 2) Suponga que está a cargo de analizar 5 ideas para la creación de productos nuevos y ha recibido la información que se da en la tabla (1= peor, 10= mejor). La dirección ha considerado que los criterios 2 y 3 son igualmente importantes y que cada uno de los criterios 1 y 4 es 4 veces más importante que el criterio 2. Sólo dos productos nuevos podrán ser introducidos,

y un producto no podrá ser introducido a menos que su puntaje sea, mayor que el 70% del máximo total de puntos posibles. ¿Cuáles de esas ideas sobre productos recomendaría usted?

Criterio de rendimiento	Clasificación				
	Pdcto.A	Pdcto. B	Pdcto. C	Pdcto. D	Pdcto.E
Compatibilidad con manufactura actual	8	7	3	6	9
Rendimiento esperado de inversión	3	8	4	7	7
Compatibilidad con habilidades de fuerza de trabajo actual	9	5	7	6	5
Margen de ganancia unitaria	7	6	9	2	7

TRABAJO PRÁCTICO N° 6

- 1) Un supermercado de la ciudad que provee leche fresca debe hacer los pedidos a su proveedor con tres días de anticipación. Se acerca el fin de semana y las ventas se incrementan generalmente los sábados. El supermercado no puede estimar las probabilidades: de que la demanda de leche sea baja (75 litros), mediana (150 litros) o alta (400 litros) cuando llegue el día. El supermercado compra el litro a Bs. 5 y vende vende a Bs. 7.

Construya usted una tabla de réditos.

¿Qué decisión es la indicada según cada uno de le siguientes criterios de decisión?

- Maximin
- Maximax
- Laplace
- Rechazo minimax

- 2) Un gerente debe decidir si deberá construir una instalación pequeña, mediana o grande. La demanda puede ser baja, promedio o alta, con probabilidades estimadas de 0.25, 0.40 y 0.35, respectivamente. Con una instalación pequeña se esperaría ganar un valor presente neto, después de impuestos, de sólo Bs.18.000 si la demanda es baja. Si la demanda es promedio, se espera que la instalación pequeña gane Bs. 75.000; más tarde podría ampliarse a un tamaño promedio para que ganara un valor presente neto de Bs. 60.000. Si la demanda es alta, cabría esperar que la instalación pequeña ganara Bs. 75.000 y que pudiera ampliarse a un tamaño promedio para ganar Bs. 60.000, o a un tamaño grande para ganar Bs. 125.000.

Con una instalación de tamaño mediano se esperaría una pérdida estimada en Bs. 25.000 si la demanda es baja. y una ganancia de Bs. 140.000 si la demanda es de magnitud promedio. Si la demanda es alta, cabría esperar que la instalación de tamaño mediano ganara un valor presente neto de Bs. 150.000; después se podría ampliar al tamaño grande para obtener un rédito neto de Bs. 145.000.

Si se optara por construir una instalación grande y la demanda resultara ser alta, se esperaría que la planta alcanzara un valor presente neto de Bs. 220.000. Si la demanda para la instalación grande resultara ser de magnitud promedio, se esperaría que dicho valor llegara a Bs. 125.000; si la demanda fuera baja, cabría esperar que dicha instalación perdiera Bs. 60.000.

a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema.

b) ¿Qué debe hacer la gerencia para obtener el rédito esperado más alto?

- 3) El departamento de marketing de una fábrica de zapatos ha estimado que la demanda para el próximo periodo podría incrementarse. Este departamento no puede estimar cuáles son sus probabilidades de que se incremente la demanda. Si bien la demanda de calzados puede ser alta o baja el año próximo, la fábrica deberá decidir ahora si va a contratar más empleados, si no va a hacer nada o si subcontratará una parte de sus operaciones con otros contratistas dedicados al mismo rubro. El gerente de operaciones ha elaborado la siguiente tabla de réditos (en Bs.):

	Demanda de calzados		
	Baja	Moderada	Alta
Contratar	20.000	45.000	125.000
Subcontratar	(15.000)	95.000	115.000
No hacer nada	9.000	15.000	45.000

¿Cuál de las alternativas es mejor, de acuerdo con cada uno de los siguientes criterios de decisión?

- Maximin
- Maximax
- Laplace
- Rechazo minimax

- 4) Una planta manufacturera ha alcanzado su plena capacidad. Ahora, la compañía tiene que construir una segunda planta (ya sea pequeña o grande) en una ubicación cercana. La demanda futura podría ser alta o baja. La probabilidad de que sea baja es de 0.65. Si la demanda es baja, la planta grande tiene un valor presente de Bs.45.000 y la planta pequeña, un valor presente de Bs.85.000. Si la demanda es alta, a la planta grande corresponde un valor presente de Bs.160.000 y a la planta pequeña, un valor presente de sólo Bs. 115.000. Sin embargo, la planta pequeña puede ampliarse después en caso de que la demanda resulte ser alta, para alcanzar un valor presente de Bs. 140.000.

- a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema.
 b) ¿Qué debe hacer la gerencia para conseguir el rédito esperado más alto?
- 5) El director académico de una universidad debe decidir la creación de una nueva carrera a nivel técnico para ofertar a los nuevos postulantes. Si la nueva carrera tiene aceptación, la institución tendrá una ganancia neta de Bs.350,000. Si la nueva carrera fracasa, la institución perderá Bs. 95.000. La mejor conjetura que el director es capaz de hacer es que las probabilidades de que la nueva carrera funcione satisfactoriamente son de 35%. ¿Qué decisión debería tomar la universidad?
- 6) Un producto de JC se ha vendido en volúmenes razonables, pero su contribución a las ganancias ha sido desalentadora. El año pasado fueron producidas y vendidas 17,500 unidades. El precio de venta es de Bs. 22 por unidad, el costo variable es de Bs. 18 y costo fijo Bs. 75.000.
- a) ¿Cuál es la cantidad de equilibrio para este producto? Use los métodos gráfico y algebraico para obtener su respuesta.
 b) JC está considerando la forma de estimular los volúmenes de ventas o reducir los costos variables. La gerencia cree que podrá incrementar las ventas en 30% o que logrará reducir el costo variable al 85% de su nivel actual. ¿Qué alternativa conducirá a mayores contribuciones a las ganancias, suponiendo que la implementación de una u otra cueste lo mismo? (*Sugerencia:* Calcule las ganancias que reportarían ambas alternativas y escoja la que produzca ganancias más altas.)
 c) ¿Cuál es el cambio porcentual de la contribución a las ganancias por unidad, generado por cada alternativa en la parte b?
- 7) Una fábrica de muebles de oficina compra a un proveedor local un componente clave para uno de sus productos. El precio de compra actual es de Bs. 95 por unidad. Los esfuerzos para estandarizar diversas partes del proceso de fabricación han tenido éxito, al grado de que ese mismo componente puede utilizarse ahora en cinco productos diferentes. La utilización anual de ese componente aumentaría de 150 a 750 unidades. La gerencia se pregunta si ha llegado el momento de fabricar el componente en la planta, en lugar de seguir comprándolo al proveedor. Los costos fijos se incrementarían en casi Bs. 9.000 al año a causa del nuevo equipo y herramienta requeridos. El costo de materias primas y gastos generales variables sería de Bs. 30 por unidad aproximadamente, y los costos de mano de obra agregarían otros Bs. 25 por cada unidad producida.
- a) ¿Le convendría a la fábrica producir el componente en lugar de comprarlo?
 b) ¿Cuál sería la cantidad de equilibrio?
 c) ¿Qué otras consideraciones podrían ser importantes?
- 8) La corporación S&B, recopiló la siguiente información sobre dos posibles lugares para instalar una cervecería (1 = malo, 10 = excelente).

Factor de localización	Ponderación del factor	Puntaje de la localización	
		A	B
Costos de construcción	10	8	5
Servicios públicos disponibles	10	7	7
Servicios para empresas	10	4	7
Costo del inmueble	20	7	4
Calidad de vida	20	4	8
Transportes	30	7	6

- a) ¿Qué localización, A o B, debería ser elegida, considerando el puntaje ponderado total?
 b) Si los factores tuvieran la misma ponderación, ¿modificaría usted su elección?

TEMA VI: SIMULACIÓN

Competencias educativas:

1. Reproducir comportamientos de sistemas utilizando modelos que describan las operaciones de dicho sistema

Competencias instructivas:

1. Reconocer los problemas más adecuados para el uso de modelos de simulación
2. Diseñar un modelo sencillo de simulación y usarlo como ayuda para la toma de decisiones

La simulación es el acto de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa las operaciones de dicho sistema. Ningún modelo de simulación es capaz de recomendar lo que se debe hacer frente a un problema. En lugar de eso, puede usarse con el fin de estudiar soluciones alternativas para tal problema. Las alternativas se utilizan sistemáticamente en el modelo y se registran las características relevantes de su operación. Una vez que se han ensayado todas las alternativas, se selecciona la mejor. Muchos analistas lo consideran como un método de último recurso.

Por ejemplo, los pilotos presentan pruebas periódicas de habilidad en simuladores de vuelo. La cabina del simulador es idéntica a la de un avión auténtico, pero está dentro de un edificio grande. Mediante el uso de gráficas generadas por computadora y otros efectos visuales y de carácter mecánico, el piloto tiene la impresión de que realmente está volando un avión. Así es posible medir y evaluar las reacciones del piloto frente a diversas situaciones inesperadas.

Uso de simulación.

- 1) Primera, cuando la relación entre las variables no es lineal o cuando es necesario manejar demasiadas variables y restricciones con los enfoques de optimización.
- 2) Los modelos de simulación pueden usarse para realizar experimentos sin perturbar el funcionamiento de los sistemas reales.
- 3) Pueden usarse modelos de simulación para obtener estimaciones de características de operación en mucho menos tiempo del que se requiere para recopilar esos mismos datos de operación a partir de un sistema real.
- 4) Es útil para perfeccionar las habilidades de toma de decisiones administrativas, por medio de juegos. Es posible desarrollar un modelo descriptivo que relacione las decisiones de la gerencia con características de operación importantes (como ganancias, participación de mercado y otras por el estilo).

Simulación de Montecarlo

- 1) Recolección de datos
- 2) Asignación de números aleatorios
- 3) Formulación del modelo
- 4) Análisis

Ejemplo de aplicación

Un gerente estudia la posibilidad de elaborar varios productos en una instalación automatizada. Para eso tendría que comprar una combinación de dos robots. Trabajando en serie, estos autómatas (llamados Mel y Danny) son capaces de realizar todas las operaciones requeridas. Cada partida de trabajo contendrá 10 unidades. Frente a Mel se formará una fila de espera de varias partidas. Cuando Mel termine su parte del trabajo, la partida resultante será transferida directamente a Danny



Cada robot requiere un tiempo de preparación para que esté en condiciones de procesar una partida. Todas las unidades de la partida requieren el mismo tiempo de procesamiento. Las distribuciones de los tiempos de preparación y de las tandas de producción de Mel y Danny son idénticas.

Sin embargo, como cada uno realizará operaciones diferentes, la simulación de cada partida requiere cuatro números aleatorios tomados de la tabla. El primer número aleatorio define el tiempo de preparación de Mel, el segundo determina el tiempo que tarda Mel en procesar cada unidad y el tercero y el cuarto corresponden, respectivamente, a los tiempos de preparación y procesamiento de Danny.

Tiempo de preparación (min)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento por unidad (s)	Probabilidad
1	0.10	5	0.10
2	0.20	6	0.20
3	0.40	7	0.30
4	0.20	8	0.25
5	0.10	9	0.15

Estime cuántas unidades se producirán en una hora. Después, use la primera columna de números aleatorios para simular 60 minutos de operación de Mel y Danny.

TRABAJO PRÁCTICO N° 7

- 1) Un servicio de Limpieza se especializa en el lavado en seco para entregar el mismo día. Los clientes dejan sus prendas temprano, por la mañana, y confían en que estarán listas para recogerlas después del trabajo, antes de volver a su casa. Sin embargo, existe un riesgo de que el trabajo necesario para limpiar una prenda no se termine el mismo día, dependiendo del tipo de limpieza requerido. Históricamente, un promedio de 20 prendas suele retenerse hasta el día siguiente. El administrador del establecimiento está estudiando una posible expansión para reducir o eliminar ese rezago. De acuerdo con los registros históricos, el administrador ha obtenido la siguiente distribución de probabilidades para el número de prendas que requieren limpieza por día:

Número	Probabilidad
50	0,10
60	0,25
70	0,30
80	0,25
90	0,10

Después de la expansión, el número máximo de prendas que sería posible limpiar en seco cada día es:

Número	Probabilidad
60	0,30
70	0,40
80	0,30

En la simulación correspondiente a un día específico, el número de prendas que requieren limpieza (NPRL) se determina primero. A continuación se determina el número máximo de prendas lavadas (NMPL) en seco que es posible obtener. Si $NMPL > NPRL$, todas las prendas podrán lavarse en el mismo día. Si $NMPL < NPRL$, entonces $(NPRL - NMPL)$ prendas tendrán que sumarse al número de las que lleguen al día siguiente, para calcular el NPRL del día siguiente. La simulación prosigue de esta manera:

- a) Suponiendo que la fila de espera esté vacía al principio, simule 15 días de operaciones. Use los siguientes números aleatorios, el primero para determinar el número de llegadas y el segundo para establecer la capacidad.
 (49, 77), (27, 53), (65, 08), (83, 12), (04, 82), (58, 44), (53, 83), (57, 72), (32, 53), (60, 79), (79, 30), (41, 48), (97, 86), (30, 25), (80, 73)
 Determine el número diario promedio de prendas retenidas hasta el día siguiente, basándose en la simulación
- b) Si el costo asociado a las prendas retenidas es de Bs. 15 por prenda cada día y si el costo agregado de la expansión es de Bs. 100 diarios, ¿será conveniente efectuar dicha expansión?

- 2) Un centro de máquinas atiende a cuatro tipos de clientes: A, B, C y D. El gerente debe calcular el número de máquinas que requiere la producción de bienes para esos clientes. Los tiempos de preparación de las máquinas para cambiar de un cliente a otro son insignificantes. Tanto la demanda anual como los tiempos de procesamiento son inciertos; la demanda puede ser baja, normal o alta. Las probabilidades de estos tres eventos aparecen en las siguientes tablas:

Cliente A

Dda (unidades/mes)	Probabilidad	Tpo procesam. (hr./Unidad)	Probabilidad
300	0,10	10	0,35
350	0,60	20	0,45
420	0,30	30	0,20

Cliente B

Dda (unidades/mes)	Probabilidad	Tpo procesam. (hr./Unidad)	Probabilidad
50	0,30	60	0,25
80	0,50	90	0,50
90	0,20	100	0,25

Cliente C

Dda (unidades/mes)	Probabilidad	Tpo procesam. (hr./Unidad)	Probabilidad
150	0,10	12	0,25
300	0,50	15	0,60
450	0,40	20	0,15

Cliente D

Dda (unidades/mes)	Probabilidad	Tpo procesam. (hr./Unidad)	Probabilidad
60	0,40	60	0,25
65	0,50	70	0,60
70	0,10	80	0,15

Simule un año de producción para determinar el número total de horas máquinas que se requieren cada año para atender a los clientes.