

# Contenido

<b>1</b>	<b>Análisis de decisiones</b>	<b>23</b>
1.1	Introducción	25
1.2	Teoría bayesiana de decisión	30
	1.2.1 Decisión sin experimentación	30
	1.2.2 Decisión con experimentación	34
	1.2.3 Costo de la información perfecta	43
1.3	Arboles de decisión	46
1.4	La función de utilidad	48
1.5	Procesos bayesianos de decisión con funciones de utilidad	59
1.6	Estadística clásica y los procesos bayesianos de decisión	63
1.7	Análisis de decisiones con objetivos múltiples	64
1.8	Proyecto de localización del nuevo aeropuerto de la ciudad de México usando teoría de utilidad con objetivos múltiples	70
	Problemas	83
	Referencias	90
<b>2</b>	<b>Sistemas de inventarios y planeación de la producción</b>	<b>93</b>
2.1	Elementos de un sistema de inventarios	94
2.2	Modelos determinísticos	99
	2.2.1 Inventario de un solo producto, demanda constante, revisión continua	100
	2.2.2 Inventario de un solo producto, demanda constante, descuento en los precios y revisión continua	110
	2.2.3 Inventario de varios productos con demanda constante, revisión continua y limitaciones de espacio de almacenamiento	121
	2.2.4 Inventario de un producto, demanda dinámica y revisión periódica	125
	2.2.4.1 Solución por programación dinámica	127
	2.2.4.2 Modelo especial de Wagner y Whitin	134

## 16 Contenido

2.2.4.3	La programación entera en la solución de la planeación de la producción con revisión periódica	140
2.3	Modelos estocásticos	143
2.3.1	Modelos estáticos	144
2.3.1.1	Consumo instantáneo, sin costo fijo, entrega inmediata	144
2.3.1.2	Consumo uniforme, sin costo fijo, entrega inmediata	149
2.3.1.3	Demanda instantánea con costos fijos	151
2.3.2	Modelos dinámicos	155
2.3.2.1	Demanda diferida, entrega inmediata, sin costo fijo	156
2.3.2.2	Sin demanda diferida, entrega inmediata, sin costo fijo	163
2.3.2.3	Modelos dinámicos, sin costo fijo, entrega inmediata, satisfacción diferida de demanda y valor de salvamento del inventario final	165
2.3.2.4	Modelos dinámicos con tiempos de entrega positivos	167
2.3.2.5	Otros modelos dinámicos	170
2.3.3	Ejemplo práctico de un problema de inventario estocástico	180
2.4	Planeación de la producción	185
2.4.1	Procesos estáticos lineales determinísticos	186
2.4.1.1	Mezcla de productos	186
2.4.1.2	Procesos de selección	187
2.4.1.3	Procesos de multifases	188
2.4.2	Procesos estáticos lineales estocásticos	191
2.4.2.1	Procesos de mezcla con restricciones estocásticas	191
2.4.2.2	Procesos estocásticos de multifase	193
2.4.3	Procesos dinámicos lineales determinísticos	197
2.4.3.1	Modelos con costos de producción e inventario	197
2.4.3.2	Modelos con tasas de producción variables y demandas diferidas	198
2.4.3.3	Representación por medio de redes	200
2.4.4	Procesos dinámicos, no lineales, determinísticos	201
2.4.5	Procesos dinámicos, estocásticos	212
2.4.6	¿Qué quedó fuera?	213
	Problema	214
	Referencias	233

<b>3</b>	<b>Teoría de líneas de espera</b>	<b>243</b>
3.1	Introducción	243
3.2	Estructura básica de una línea de espera	247
3.3	Notación en la teoría de líneas de espera	250
3.4	Una cola-un servidor-población infinita	253
3.5	Una cola-un servidor-población finita	263
3.6	Una cola-servidores múltiples en paralelo-población infinita	268
3.7	Una cola-servidores múltiples en paralelo-población finita	277
3.8	Una cola-servidores múltiples en serie	282
3.9	Línea simple, con llegadas y servicios no constantes, distribuidas respectivamente con distribución de Poisson y negativa exponencial	286
3.10	Comportamiento prioritario de una línea de espera	291
3.11	El proceso de decisión en las líneas de espera	294
3.12	Análisis de un caso de línea de espera	299
3.13	Nomenclatura de las diferentes líneas de espera	306
	Problemas	307
	Referencias	313
<b>4</b>	<b>Simulación</b>	<b>315</b>
4.1	Introducción	316
4.2	Pasos a seguir en un proceso de simulación	321
	4.2.1 Formulación del problema	322
	4.2.2 Recolección y procesamiento de la información requerida	322
	4.2.3 Formulación del modelo matemático	323
	4.2.4 Evaluación de las características de la información procesada	324
	4.2.5 Formulación de un programa de computadora	325
	4.2.6 Validación del programa de computadora	326
	4.2.7 Diseño de experimentos de simulación	326
	4.2.8 Análisis de resultados y validación de la simulación	327
4.3	Generación de números aleatorios	327
	4.3.1 Prueba de Kolmogorov-Smirnov	329
	4.3.2 Prueba de corrida	331
	4.3.3 Números aleatorios con distribuciones diferentes a la uniforme	334
4.4	Simulación de problemas discretos	343
4.5	Ejemplo de una simulación manual de un proceso discreto	346
4.6	Un lenguaje de simulación: GPSS	361
4.7	Dinámica industrial	369
4.8	Juegos de simulación	376
	4.8.1 Juego de simulación de una empresa de refrescos	380
	4.8.2 Juego de simulación de una mina	382
4.9	Verificación de los resultados de un modelo de simulación	386
4.10	Una aplicación real de la simulación	387
	Problemas	392
	Referencias	393

## 18 Contenido

<b>5</b>	<b>Procesos markovianos de decisión</b>	<b>395</b>
5.1	Conceptos básicos	396
5.2	Costos esperados en cadenas de Markov	411
5.3	Procesos markovianos de decisión	415
5.4	Algoritmos de programación lineal	421
5.5	Algoritmos para mejorar políticas	426
5.6	Criterio de factor de descuento	434
	5.6.1 Algoritmo para mejorar políticas con factor de descuento	434
	5.6.2 Algoritmo de programación lineal para problemas con factor de descuento	437
	5.6.3 Métodos de aproximaciones sucesivas	439
5.7	Aplicaciones de los procesos markovianos de decisión	443
	5.7.1 Un modelo de recursos hidráulicos	443
	5.7.2 Un modelo de reemplazo	450
	Problemas	455
	Referencias	459
<b>6</b>	<b>Programación y redes estocásticas</b>	<b>461</b>
6.1	Introducción	462
6.2	Programación estocástica	463
6.3	Programación estocástica de doble etapa	464
6.4	Programación lineal bajo incertidumbre	475
6.5	Programación estocástica restringida	478
6.6	Problemas estocásticos de transportes	490
6.7	Programación estocástica no-lineal	494
6.8	Redes estocásticas	496
	6.8.1 Conceptos generales	496
	6.8.2 Algunas aplicaciones	508
	6.8.2.1 Sistemas de inventarios con resurtimiento variable	510
	6.8.2.2 Análisis de una línea de ensamble	513
6.9	Redes bajo incertidumbre	516
	Problemas	525
	Referencias	528
<b>7</b>	<b>Programación con metas múltiples</b>	<b>531</b>
7.1	Introducción	532
7.2	Formulación de la programación con metas múltiples	538
7.3	Solución de problemas de programación con metas múltiples	550
7.4	Aplicaciones de la programación con metas múltiples	563
	7.4.1 Planificación de la producción	563
	7.4.2 Decisiones financieras	567
7.5	Comentarios finales	573

Problemas	574
Referencias	577
<b>8 Problemas de localización</b>	<b>579</b>
8.1 Introducción	580
8.2 Localización de una instalación	583
8.3 Localización de instalaciones múltiples	588
8.4 Problemas de localización y asignación	594
8.5 Problemas cuadráticos de asignación y localización	601
8.6 Criterios minimax de localización	607
8.7 Problemas discretos de localización y de cobertura	611
Problemas	621
Referencias	627
<b>9 Problemas de secuenciación y balance de líneas de producción</b>	<b>631</b>
9.1 Introducción	632
9.2 Gráfica de Gantt	636
9.3 $n$ trabajos en una máquina	638
9.4 $n$ trabajos en dos máquinas	639
9.5 $n$ trabajos en tres máquinas	642
9.6 Dos trabajos en $m$ máquinas	653
9.7 $n$ trabajos en $m$ máquinas	656
9.7.1 Formulación entera	658
9.7.2 Algoritmos de generación de secuencias especiales	661
9.7.2.1 Algoritmo de Giffler y Thompson para generar secuencias activas	666
9.7.2.2 Algoritmo para generar secuencias sin retrasos	669
9.7.3 Método de bifurcación y acotación	670
9.7.4 Reglas de jerarquización	673
9.8 Balance de líneas de producción	677
Problemas	686
Referencias	692
<b>10 Reemplazo, mantenimiento y confiabilidad</b>	<b>695</b>
10.1 Costos asociados a un problema de reemplazo	696
10.2 Reemplazo y mantenimiento preventivo individual	700
10.3 Reemplazo de grupo	706
10.4 El proceso general de renovación	707
10.5 Confiabilidad	711
Problemas	719
Referencias	723
<b>11 Teoría de juegos</b>	<b>725</b>
11.1 Introducción	726
11.2 Juegos suma-cero para 2 oponentes	729

## 20 Contenido

11.3	Puntos de silla	733
11.4	Dominación	735
11.5	Aplicación real de un problema con punto de silla	737
11.6	Soluciones algebraicas o matriciales	738
11.7	Soluciones gráficas	740
11.8	Técnicas de programación lineal	742
11.9	Juegos suma diferente de cero o metajuegos	744
	Problemas	746
	Referencias	748
Apéndice A Conceptos básicos de probabilidad		751
A.1	Experimentos, espacios de prueba y eventos	751
A.2	Probabilidad	752
A.3	Variables aleatorias	757
A.4	Distribución de probabilidad y función de densidad acumulada	757
A.5	Distribuciones conjuntas, marginales y condicionadas	761
A.6	Esperanza, variancias y otros momentos de variables aleatorias	766
A.7	Función generadora de momentos y convoluciones	772
A.8	Teorema de Chebyshev y ley de los grandes números	777
	A.8.1 Teorema de Chebyshev	777
	A.8.2 Ley de los grandes números	778
A.9	Distribuciones discretas de probabilidad más comunes	778
	A.9.1 Distribución uniforme	778
	A.9.2 Distribución de Bernoulli	779
	A.9.3 Distribución binomial	779
	A.9.4 Distribución hipergeométrica	781
	A.9.5 Distribución geométrica	782
	A.9.6 Distribución binomial negativa (Pascal)	784
	A.9.7 Distribución multinomial	785
	A.9.8 Distribución de Poisson	787
	A.9.9 Relación entre diferentes distribuciones discretas	789
A.10	Distribuciones continuas de probabilidad más comunes	791
	A.10.1 Distribución uniforme continua	791
	A.10.2 Distribución normal o de Gauss	791
	A.10.3 Distribución normal logarítmica	794
	A.10.4 Distribución exponencial negativa	797
	A.10.5 Distribución de Erlang	799
	A.10.6 Distribución gama	800
	A.10.7 Distribución de Weibull	802
	A.10.8 Distribuciones beta	803
	A.10.9 Distribución chi-cuadrada, $T$ de Student y $F$ de Fisher	805
A.11	Teorema del límite central	809
A.12	Relación entre diferentes distribuciones continuas	809
A.13	Ajustes de distribución a datos	814
	Problemas	815
	Referencias	820

<b>Apéndice B Conceptos básicos de estadística</b>	<b>823</b>
<b>B.1</b> Análisis de datos estadísticos	823
<b>B.2</b> Muestreo y distribuciones muestrales	835
<b>B.3</b> Estimación estadística	843
<b>B.4</b> Estimación del tamaño de una muestra	852
<b>B.5</b> Prueba de hipótesis	853
<b>B.5.1</b> Pruebas de uno y dos extremos de una distribución	856
<b>B.5.2</b> Pruebas de hipótesis referentes a valores medios	862
<b>B.5.2.1</b> Población normal y $\sigma$ (desviación estándar de la población) conocida	862
<b>B.5.2.2</b> Población normal y $\sigma$ (desviación estándar de la población) desconocida	863
<b>B.5.2.3</b> Diferencia entre dos medias con idéntica desviación estándar conocida	864
<b>B.5.2.4</b> Diferencia entre dos medias con idéntica desviación estándar, pero desconocida	866
<b>B.5.3</b> Prueba de hipótesis referente a proporciones	867
<b>B.5.3.1</b> Prueba de una sola proporción	867
<b>B.5.3.2</b> Prueba entre dos proporciones	869
<b>B.5.4</b> Prueba de hipótesis referentes a variancias	871
<b>B.5.4.1</b> Prueba de una sola variancia	871
<b>B.5.4.2</b> Prueba de dos variancias	872
<b>B.6</b> Regresiones y correlaciones simples	873
<b>B.7</b> Regresiones y correlaciones múltiples	884
<b>B.8</b> Análisis de variancia	888
<b>B.8.1</b> El enfoque básico	889
<b>B.8.2</b> Clasificación de dos variables	893
<b>B.9</b> Estadística no paramétrica	897
<b>B.9.1</b> Tablas de contingencia	897
<b>B.9.2</b> Prueba de Wilcoxon	900
<b>B.9.3</b> Prueba de Spearman Rho	902
<b>B.10</b> Control de calidad	904
Problemas	912
Referencias	921
<b>Apéndice C Pronósticos</b>	<b>923</b>
<b>C.1</b> Introducción	923
<b>C.2</b> Técnicas cuantitativas	928
<b>C.2.1</b> Promedios móviles simples	928
<b>C.2.2</b> Alisamiento exponencial	931

C.2.3	Promedios móviles dobles	932
C.2.4	Alisamiento exponencial doble	934
C.2.5	Filtros adaptativos	935
C.2.6	Métodos de descomposición	938
C.2.7	Box-Jenkins	943
C.2.8	Otros modelos cuantitativos	948
C.3	Modelos cualitativos	949
C.3.1	Curvas logísticas y de aprendizaje	949
C.3.2	Métodos de investigación morfológica	952
C.3.3	El método DELPHI	953
C.3.4	Otros métodos cualitativos	955
C.4	Comentarios finales	955
	Referencias	956
<b>Apéndice D</b>	<b>Evaluación económica</b>	<b>959</b>
D.1	Introducción	959
D.2	Valor presente	961
D.3	Anualidades	961
D.4	Métodos de flujo descontado de efectivo	963
D.5	Comparación de los métodos beneficio-costos y de valor presente	965
	Referencias	968
<b>Apéndice E</b>	<b>Tablas estadísticas</b>	<b>969</b>
Tabla E.1	Distribución binomial	970
Tabla E.2	Distribución binomial acumulada	975
Tabla E.3	Distribución de Poisson	979
Tabla E.4	Distribución normal	984
Tabla E.5	Función gama	985
Tabla E.6	Puntos porcentuales de la distribución $\chi^2$ cuadrada	986
Tabla E.7	Puntos porcentuales de la distribución $T$ o de Student	988
Tabla E.8	Puntos porcentuales de la distribución $F$ o de Fisher	989
Tabla E.9	Factores para límites de tolerancia de dos lados	996
Tabla E.10	Factores para gráficas de control de calidad	997
Tabla E.11	Código alfabético para tamaño de muestra de control de calidad	998
Tabla E.12	Kolmogorov-Smirnov	999
Tabla E.13	Tablas MIL-STD 105 D de control de calidad (inspección normal, muestreo simple, doble y múltiple)	1000
Tabla E.14	Números aleatorios	1008