

ÍNDICE

Presentación a la segunda edición	13
Prólogo a la primera edición	15
Presentación a la primera edición	17
CAPÍTULO 1: CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS	19
1. ASPECTOS GENERALES	21
1.1 Sistema	21
1.2 Relación entre proceso y sistema	21
1.2.1 Proceso	21
1.2.2 Sistema	22
1.3 Elementos de un sistema	22
1.3.1 Entidades	22
1.3.2 Actividades	22
1.3.3 Recursos	23
1.3.4 Controles	23
1.4 Complejidad de un sistema	24
1.4.1 Interdependencia	24
1.4.2 Variabilidad	24
1.5 Modelo	24
2. SIMULACIÓN DE SISTEMAS	25
2.1 Algunas aplicaciones de la simulación en la industria	26
2.2 Características de la simulación	26
2.3 Tipos de simulación según su naturaleza	27
2.3.1 Simulación basada en el avance del tiempo	27
2.3.2 Simulación basada en el uso de variables aleatorias	28
2.3.3 Simulación basada en la continuidad de la ocurrencia de los eventos	29
3. MODELOS ANALÍTICOS VERSUS MODELOS DE SIMULACIÓN	33
3.1 Modelos analíticos	33
3.2 Modelos de simulación	33
4. FASES DE UN PROYECTO DE SIMULACIÓN	34
4.1 Definir el problema, los objetivos y los requerimientos	35
4.2 Diseño del modelo conceptual	35
4.3 Obtención y análisis estadístico de los datos	36
4.4 Construcción del modelo de simulación	37
4.5 Verificación del modelo	38
4.6 Validación del modelo	38
4.7 Experimento de simulación, ejecución y análisis estadístico	39
4.8 Entrega de documentación y presentación de resultados	41
5. GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS	41
6. VARIABLES ALEATORIAS	43
7. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	44

8. SIMULACIÓN DE SISTEMAS POR EVENTOS Y POR PROCESOS	46
8.1 Simulación por eventos	46
8.2 Simulación por procesos	46
8.2.1 Evento programado en el tiempo	47
8.2.2 Evento condicional	48
9. RELOJ DE LA SIMULACIÓN	48
10. VARIABLES DEL SISTEMA	49
10.1 Variables de decisión	49
10.2 Variables de respuesta	49
10.3 Variables de estado	50
11. ELEMENTOS ABSTRACTOS DEL SISTEMA	50
11.1 Entidades	50
11.2 Recursos	51
11.3 Atributos	52
11.4 Variables globales	54
Caso de estudio N°1: Simulación manual por eventos	55
Caso de estudio N°2: Expendio de gasolina en estación de servicios	62
Caso de estudio N°3: Módulos de atención organizados en secuencia	64
Caso de estudio N°4: Partido de básquet en el coliseo	66
Caso de estudio N°5: Proceso de transformación de lotes de materia prima	68
Caso de estudio N°6: Turismo vivencial por el río Amazonas	70
Caso de estudio N°7: Proceso de acabado en línea de producción	72
Caso de estudio N°8: Estación de servicio para venta de combustible	74
Final de capítulo: Casos propuestos	76
CAPÍTULO 2: MODELADO DE SISTEMAS DISCRETOS POR PROCESOS – MÓDULOS BÁSICOS	79
1. MÓDULO CREATE	81
2. MÓDULO PROCESS	82
3. MÓDULO ASSIGN	85
4. MÓDULO DISPOSE	87
5. PARÁMETROS PARA EJECUTAR EL MODELO	88
5.1 Duración de la simulación	88
5.1.1 Estado transitorio	88
5.1.2 Estado estable	89
5.2 Configuración del experimento de simulación en Arena	89
Caso de estudio 1: Tramitación en embajada	91
6. MÓDULO DECIDE	96
7. MÓDULO RECORD	99
Caso de estudio 2: Estaciones de servicio en paralelo	102
Caso de estudio 3: Estaciones de trabajo en serie	106
Caso de estudio 4: Línea de producción con estaciones de inspección y ajuste	108
Caso de estudio 5: Secuencia de operaciones de un proceso	110
Caso de estudio 6: Evaluación de créditos hipotecarios	112
Caso de estudio 7: De compras	116

8. MÓDULO DE DATOS: CONJUNTO DE RECURSOS	118
8.1 Criterios de selección de recursos	118
Caso de estudio 8: Control de ingreso de pasajeros en el aeropuerto	126
Caso de estudio 9: Atención a alumnos en asesoría	129
9. MÓDULO DE DATOS EXPRESSION (ESTRUCTURA DE DATOS)	131
Caso de estudio 10: Atención de clientes en un banco	135
10. REASIGNACIÓN DE LA CAPACIDAD DE UN RECURSO	140
Caso de estudio 11: Programación de operarios según Schedule	142
Caso de estudio 12: Funcionamiento de una agencia bancaria	146
11. MODELADO DE ENSAMBLES	148
11.1 Módulo BATCH	149
11.1.1 Atributos de la nueva entidad	149
11.1.2 Reglas de agrupamiento	151
11.2 Módulo SEPARATE	152
11.2.1 Función Separador	152
11.2.2 Función Clonador	153
Caso de estudio 13: Lavado de piezas colocadas en racks	154
Caso de estudio 14: Ensamble del producto Triple X	156
Caso de estudio 15: Ensamblaje, prueba y embalaje de componentes electrónicos	159
12. FUNCIONES INDIVIDUALIZADAS DE UN PROCESO	164
12.1 Módulo SEIZE	165
12.2 Módulo DELAY	165
12.3 Módulo RELEASE	166
Caso de estudio 16: Arreglo de fallas en circuitos integrados	168
Caso de estudio 17: Secuencia de operaciones de un proceso	171
13. ACUMULADORES AUTOMÁTICOS	173
13.1 Módulo STORE	173
13.2 Módulo UNSTORE	173
Caso de estudio 18: Funcionamiento de una central de llamadas	175
14. MODELO BÁSICO DE INVENTARIOS	179
14.1 Indicadores de desempeño	179
14.2 Variables de recursos	180
14.3 Sistema de control de inventarios y venta con entrega diferida	183
Caso de estudio 19: Control de almacenes y distribución de cajas de aceite	184
Caso de estudio 20: Examen de "Simula"	188
Caso de estudio 21: Sistema rápido de transporte en corredor segregado	190
Final de capítulo: Casos propuestos	192
CAPÍTULO 3: OBTENCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS PARA EL MODELO	207
1. ASPECTOS IMPORTANTES EN LA ETAPA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	209
1.1 Identificar los requerimientos de los datos	209
1.2 Identificar las relaciones causa-efecto	209
1.3 Recolección de datos en forma sistemática	210
1.4 Usar fuentes de datos apropiadas	211
1.5 Preparar una lista de supuestos	212

1.6	Convertir los datos en una forma utilizable en el modelo	212
1.7	Documentación de los datos	212
2.	AJUSTE DE LOS DATOS MUESTRALES A DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD TEÓRICAS POBLACIONALES	213
2.1	Distribuciones de probabilidad	213
2.1.1	Distribuciones teóricas y empíricas	213
2.1.2	Clasificación de las distribuciones teóricas	214
2.1.3	Distribución uniforme (continua)	216
2.1.4	Distribución exponencial (continua)	216
2.1.5	Distribución binomial (discreta)	217
2.1.6	Distribución normal (continua)	217
2.1.7	Distribución Poisson (discreta)	218
2.1.8	Distribución Beta (continua)	219
3.	PROCESO DE AJUSTE DE DATOS A UNA DISTRIBUCIÓN	220
3.1	Metodología	220
3.1.1	Análisis de la estadística descriptiva	220
3.1.2	Análisis de independencia o aleatoriedad	221
3.1.3	Prueba de bondad de ajuste	222
3.1.4	Ajuste de una distribución de probabilidad	222
4.	ANÁLISIS DE DATOS EN ARENA: INPUT ANALYZER	223
5.	ESCENARIO DE INCERTIDUMBRE TOTAL	228
5.1	Método Delphi	229
5.1.1	¿Cuándo se aplica?	229
5.1.2	Desventajas	229
5.1.3	Ventajas	230
5.1.4	¿A quiénes se puede considerar expertos?	230
	Caso de estudio 1: Ajuste de datos a distribuciones de probabilidad	231
CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN		235
1.	CONDICIONES DE INICIO Y FIN DE LA SIMULACIÓN	238
1.1	Simulación de estado transitorio	238
1.2	Simulación de estado estable	240
2.	ESPECIFICACIÓN DE ESTADÍSTICAS	243
2.1	Estadísticas por observaciones	243
2.2	Estadísticas dependientes del tiempo	244
2.3	Otras medidas particulares	244
3.	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE RÉPLICAS	245
3.1	Muestras preliminares (n)	245
3.2	Determinación del número de réplicas (N)	245
3.3	Intervalos de confianza para μ	246
3.3.1	Factor de precisión	246
3.4	Teorema del Límite Central	246
4.	TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE VARIANZA	255
4.1	Técnica de Secuencias Comunes	257
4.2	Técnica de Secuencias Antitéticas	257

5.	COMPARACIÓN DE ESCENARIOS	258
5.1	Comparación de medias usando muestras relacionadas	258
5.2	Comparación de medias usando muestras independientes	260
6.	PRUEBA DE NORMALIDAD	261
7.	EJECUCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	265
7.1	Configuración del experimento de simulación en Arena	265
7.2	Análisis de los resultados en Arena	265
7.3	Output Analyzer	266
7.3.1	Determinación del intervalo de confianza para μ	266
7.3.2	Comparación de escenarios	267
7.3.3	Cálculo de probabilidades	268
7.3.4	Comparación de escenarios: Muestras independientes	268
	Caso de estudio 1: Comparación de escenarios	269
	Caso de estudio 2: PERT versus simulación de la duración de un proyecto	273
	Caso de estudio 3: Control de inventarios y venta con entrega diferida	276
	Caso de estudio 4: Simulación del tráfico en una vía expresa	282
	Final del capítulo: Caso propuesto	309
	CAPÍTULO 5: MODELADO DE SISTEMAS DISCRETOS POR PROCESOS - MÓDULOS AVANZADOS	313
1.	MÓDULO MATCH (continuación de ensamblajes)	315
1.1	Juntar, con base en cualquier entidad: Any entities	316
1.2	Juntar, con base en base de un atributo: <i>Based on attribute</i>	317
	Caso de estudio 1: Lavandería "Blanquita"	318
	Caso de estudio 2: Manufactura de ropa a pedido	321
2.	MÓDULO HOLD (retención de entidades en cola)	325
3.	MÓDULO SIGNAL (emisión de señales)	327
4.	MÓDULO SEARCH (búsqueda de entidades en cola)	328
5.	MÓDULO REMOVE (extracción de entidades de cola)	329
	Caso de estudio 3: Duración de una actividad dependiente de condición	330
	Caso de estudio 4: Análisis de tráfico por una sola vía	333
	Caso de estudio 5: Transacciones en un cajero automático	336
	Caso de estudio 6: Sala de reposo en una clínica	338
	Caso de estudio 7: Almacenes "Mundo"	340
	Caso de estudio 8: Atención de clientes en un supermercado	342
	Caso de estudio 9: Venta de entradas en la Copa América 2007	344
	Caso de estudio 10: Partido de definición del campeón nacional	346
6.	MÓDULO PICKUP (entidad grupo)	348
7.	MÓDULO DROPOFF (entidad grupo)	349
	Caso de estudio 11: El ascensor	351
	Caso de estudio 12: Atención en consultorio médico	353

Caso de estudio 13: Operaciones en una manufacturera	356
Caso de estudio 14: Uso de recurso en secuencia de operaciones	358
Caso de estudio 15: Simulación de fallas en las máquinas	361
8. MÓDULO READWRITE (interfase de lectura y escritura externa)	363
Caso de estudio 16: Escritura de datos en archivo externo	365
Caso de estudio 17: Lectura de datos de un archivo externo	367
Final del capítulo: Casos propuestos	369
CAPÍTULO 6: MODELADO DE SISTEMAS CONTINUOS Y COMBINADOS	377
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	379
2. MODELADO DE PROCESOS DE FLUJO	383
2.1 Módulo TANK	383
2.2 Módulos SEIZE REGULATOR, FLOW y RELEASE REGULATOR	384
2.3 Módulo FLOW	384
2.4 Módulo SENSOR	386
2.5 Módulo REGULATE	387
Caso de estudio 1: Simulación de la variación del nivel del tanque	389
Caso de estudio 2: Venta de un líquido a granel	393
Caso de estudio 3: Funcionamiento de una moladora de maíz	395
Caso de estudio 4: Venta de combustible en grifo	398
Caso de estudio 5: Operación de un tanque alimentador de una refinería	402
Caso de estudio 6: Plan de aguas para vivienda	407
Caso de estudio 7: Llenado de una piscina	411
Caso de estudio 8: Sistema de abastecimiento a planta industrial	414
Caso de estudio 9: Campaña de Navidad	416
Caso de estudio 10: Sistema de suministro de agua en edificio	418
Caso de estudio 11: Control de calidad en línea de producción	422
Caso de estudio 12: Empresa envasadora de GLP	424
Caso de estudio 13: Estación de llenado de bidones de agua	427
Final de capítulo: Casos propuestos	431
ANEXOS	439
Anexo 1: Modelo teórico de colas	441
Anexo 2: Principales funciones y variables en Arena	449
Anexo 3: Tablas estadísticas	454
Anexo 4: Redes de Petri	456
BIBLIOGRAFÍA	465