

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 |