

# Índice general

<b>Índice de Tablas</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen</b>	<b>XV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVII</b>
<b>Resum</b>	<b>XIX</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>XXI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	4
1.2. Objetivo . . . . .	6
1.3. Estructura del Trabajo . . . . .	8
<b>I Marco Teórico. Estado del Arte.</b>	<b>11</b>
<b>2. Simulación</b>	<b>17</b>
2.1. Modelos y los Modelos de Simulación . . . . .	18
2.2. El Modelado de un Sistema y el Modelado de una Organización	19
2.3. La Teoría del Modelado y la Simulación . . . . .	21
2.4. Etapas de un Estudio de Simulación . . . . .	22
2.4.1. Formulación del Problema, Objetivos y Plan de proyecto	25
2.4.2. Conceptualización del Modelo . . . . .	26
2.4.3. Desarrollo de un Modelo de Simulación . . . . .	28
2.4.4. Recolección de Datos. El Modelado de las Entradas para la Simulación . . . . .	28

2.4.5.	Traducción del Modelo en formato Informatizado. La Simulación de Modelos. . . . .	29
2.4.6.	Verificación de Código del Simulador. . . . .	40
2.4.7.	Validación del Modelo. . . . .	40
2.4.8.	Diseño de Experimentos. . . . .	41
2.4.9.	Análisis de los Resultados de una Simulación. . . . .	41
2.4.10.	Documentación y Reportes. . . . .	43
2.4.11.	Implementación. . . . .	44
2.5.	Ventajas e Inconvenientes del Uso de la Simulación . . . . .	44
2.6.	Áreas de aplicación . . . . .	45
2.7.	Conclusiones . . . . .	46
<b>3.</b>	<b>Los Sistemas Multiagente y la Simulación</b>	<b>47</b>
3.1.	Agentes y Sistemas Multiagente . . . . .	47
3.2.	Comunicación entre agentes . . . . .	49
3.2.1.	Métodos de Comunicación. . . . .	49
3.2.2.	Detección de Situaciones de Cambios de Estado. . . . .	50
3.2.3.	Negociación entre agentes. . . . .	51
3.3.	El Proceso de Aprendizaje en los Sistemas Multiagente. . . . .	55
3.4.	Áreas de Aplicación de los Sistemas Multiagente . . . . .	58
3.5.	La Simulación y los Sistemas Multiagente . . . . .	61
3.5.1.	El Proceso de Diseño de Simulación basada en Agentes. . . . .	63
3.5.2.	Tratamiento del Entorno en la Simulación Multiagente. . . . .	68
3.5.3.	Áreas de aplicación de la Simulación guiada por Agentes. . . . .	70
3.6.	Entornos de Simulación de Sistemas Multiagente . . . . .	78
3.7.	Conclusiones . . . . .	79
<b>4.</b>	<b>Simulación de Sistemas de Fabricación y los Sistemas Multiagente</b>	<b>81</b>
4.1.	Simulación de Sistemas de Fabricación . . . . .	82
4.1.1.	Sistemas de Colas y su Simulación. . . . .	86
4.2.	Estándares de Simulación y Fabricación . . . . .	90
4.3.	Requisitos Actuales de Fabricación y la Simulación con Agentes . . . . .	101
4.3.1.	Posibilidades de mejora mediante MAS con respecto a los Requisitos de Fabricación . . . . .	102
4.4.	Enfoque Holónico para Fabricación . . . . .	106
4.4.1.	Fabricación Virtual y los Sistemas Holónicos de Fabricación . . . . .	107
4.4.2.	Sistemas Holónicos de Fabricación y los Sistemas Multiagente . . . . .	110

4.4.3.	Arquitectura de Fabricación basada en Agentes . . . . .	111
4.4.4.	Arquitectura de Referencia PROSA . . . . .	113
4.5.	Características de la Simulación de Fabricación . . . . .	116
4.6.	Modelo de Simulación de Fabricación . . . . .	117
4.7.	Herramientas de Simulación para Sistemas de Fabricación . . .	118
4.7.1.	Clasificación de Herramientas de Simulación . . . . .	119
4.7.2.	Características de las Herramientas de Simulación . . .	124
4.7.3.	Elementos clave de las Herramientas de Simulación ba- sada en Agentes para la Fabricación . . . . .	125
4.7.4.	Entornos de Simulación de Fabricación basadas en Agen- tes . . . . .	126
4.8.	Conclusiones . . . . .	126

## **II Marco de la Propuesta. 129**

### **5. Modelo de la Arquitectura del Entorno de Simulación 135**

5.1.	Identificación y Definición de Agentes . . . . .	137
5.1.1.	Características contempladas en la propuesta. . . . .	138
5.1.2.	Identificación de Roles . . . . .	138
5.2.	Funciones de Roles . . . . .	143
5.3.	Integración de Roles en la Simulación . . . . .	145
5.4.	Secuencia de Ejecución . . . . .	146
5.5.	Definición de Escenarios . . . . .	147
5.6.	Las Fases de Simulación y el Agente de Sincronización . . . . .	155
5.7.	Fase I. Configuración preliminar del Modelo . . . . .	157
5.8.	Fase I. Creación del Modelo . . . . .	160
5.8.1.	Detección y Control de Cambios de Estado . . . . .	161
5.8.2.	Reglas de modelado aplicadas durante la Creación y Ve- rificación del Modelo. . . . .	166
5.9.	Conclusiones . . . . .	169

### **6. Metamodelo para la Simulación de Planta 171**

6.1.	Identificación de Elementos para el Metamodelo . . . . .	173
6.2.	Definición de Taxonomía de los Holones del Metamodelo . . . . .	181
6.3.	Vinculación entre el Entorno Real y los Agentes del Metamodelo de Simulación . . . . .	208
6.4.	Notación de los Elementos del Metamodelo . . . . .	210

6.5.	Interacciones entre el Metamodelo de la Planta de Fabricación y el Simulador . . . . .	210
6.6.	Aprendizaje por refuerzo para los Agentes del Modelo . . . . .	211
6.7.	Conclusiones . . . . .	214
<b>7.</b>	<b>Arquitectura del Entorno para la Simulación de Modelos</b>	<b>215</b>
7.1.	Estrategias y Protocolos de Comunicación Entorno Simulación-Sistema Fabricación . . . . .	215
7.1.1.	Apertura del Modelo a Simular . . . . .	218
7.1.2.	Configuración preliminar en la Simulación del Modelo . . . . .	218
7.1.3.	Control y Detección de Cambios de Estado . . . . .	219
7.1.4.	Efectos de animación de Iconos . . . . .	223
7.1.5.	Control de Avance de Tiempo . . . . .	226
7.1.6.	Creación de Trazas . . . . .	228
7.2.	Estrategias y Protocolos de Comunicación durante la Simulación del Modelo . . . . .	229
7.2.1.	Simulando el Lanzamiento de una Orden de Producción . . . . .	230
7.2.2.	Procesos de Negociación entre Orden de Producción y Recursos . . . . .	242
7.2.3.	Tratamiento de Trabajos Aceptados por los Recursos . . . . .	249
7.2.4.	Reserva y Entrega de Materiales . . . . .	249
7.2.5.	Simulación de Supervisión de operaciones en el Sistema de Fabricación . . . . .	250
7.3.	Visualización de Resultados de la Simulación . . . . .	251
7.4.	Exportación de Resultados de la Simulación de un Modelo . . . . .	253
7.5.	Conclusiones . . . . .	254
<b>8.</b>	<b>SimIShopF: Un prototipo de Entorno de Simulación soportado por Agentes</b>	<b>257</b>
8.1.	Funcionalidad del Entorno de Simulación . . . . .	257
8.1.1.	Alcance del Sistema . . . . .	260
8.1.2.	Los Holones . . . . .	269
8.1.3.	Relaciones con el Entorno . . . . .	291
8.1.4.	La Arquitectura del Sistema . . . . .	292
8.2.	Implementación del Simulador . . . . .	297
8.2.1.	Fase I. Creación de Modelo . . . . .	297
8.2.2.	Fase II- Simulación de Modelo . . . . .	305
8.3.	Ontología . . . . .	317
8.4.	Conclusiones . . . . .	319

<b>9. Evaluación</b>	<b>321</b>
9.1. Evaluación del código del prototipo del Entorno de Simulación .	321
9.2. Bases para la Evaluación de Funcionalidad del entorno de Simulación . . . . .	323
9.2.1. Criterios de Evaluación con respecto al paradigma de Sistemas Multiagente y los requisitos de la Nueva Era de la Fabricación . . . . .	324
9.2.2. Criterios de Evaluación del Entorno de Simulación en la Fase de Modelado . . . . .	326
9.2.3. Criterios de Evaluación del Entorno en la fase de Simulación del Modelo . . . . .	328
9.3. Bases para la Evaluación de Resultados obtenidos durante la Simulación . . . . .	330
9.3.1. Criterios para la Evaluación de Modelos . . . . .	330
9.3.2. Criterios para la Evaluación de Configuraciones de Planta previa y posterior a la Creación de Ordenes de Producción. . . . .	333
9.3.3. Aplicación de técnicas multicriterio . . . . .	340
9.3.4. Criterios para la Evaluación de los Resultados relacionados con Datos de Producción . . . . .	341
9.4. Conclusiones . . . . .	347
<b>10. Caso de Estudio</b>	<b>349</b>
10.1. Definición del Caso de Estudio . . . . .	349
10.2. Simulación de la Planta Silos. . . . .	350
10.2.1. Formulación del Problema. . . . .	350
10.2.2. Formulación del Modelo. . . . .	350
10.2.3. Representación y Programación del Modelo. . . . .	354
10.2.4. Diseño de Experimentos. . . . .	358
10.2.5. Simulando el Modelo. . . . .	359
10.2.6. Lanzando a Simular una Orden de Producción . . . . .	362
10.2.7. Modificando el Modelo . . . . .	366
10.2.8. Deteniendo la Simulación . . . . .	367
10.2.9. Análisis de Resultados de la Simulación . . . . .	368
10.2.10. Análisis de Configuraciones de Planta . . . . .	371
10.2.11. Análisis de Tiempos Muertos por Configuraciones de Planta . . . . .	378
10.2.12. Aprendizaje de Agentes por refuerzo . . . . .	382
10.3. Conclusiones . . . . .	384

<b>11. Resultados de la Evaluación</b>	<b>387</b>
11.1. Resultados de la Evaluación Global de la Implementación del Prototipo . . . . .	387
11.2. Resultados de la Evaluación de la Funcionalidad del Prototipo .	389
11.3. Conclusiones . . . . .	396
<b>12. Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>401</b>
12.1. Aportaciones . . . . .	401
12.2. Líneas Futuras de Investigación . . . . .	405
12.3. Publicaciones . . . . .	406
<b>Bibliografía</b>	<b>411</b>