



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

# **ANÁLISIS Y DESARROLLO DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN**

AUTORA: ANA ESTESO ÁLVAREZ

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ROMANO

**Curso académico: 2013-14**



## Tabla de contenido

Índice ilustraciones.....	6
Índice tablas .....	16
1. Objeto, justificación y motivación .....	22
2. Antecedentes .....	24
2.1. Introducción Just In Time .....	24
2.2. Planta Ford Almussafes.....	25
2.3. Descripción de la factoría y su proceso de fabricación .....	26
2.3.1. Área de Carrocerías.....	26
2.3.2. Área de Pinturas .....	27
2.3.3. Área de Montaje.....	29
3. Metodología utilizada en el proyecto .....	32
3.1. Simulación.....	32
3.2. Características de la simulación .....	34
3.3. Metodología de la simulación: Proceso de simulación .....	36
3.3.1. Definición del Problema.....	37
3.3.2. Construcción del modelo de simulación .....	37
3.3.3. Validación del modelo .....	38
3.3.4. Diseño y realización del experimento .....	39
3.3.5. Evaluación de los resultados .....	40
3.3.6. Implementación.....	41
3.4. Lenguajes y paquetes de simulación .....	41
3.4.1. Selección de las alternativas.....	43
3.5. Introducción SIMIO .....	44
3.5.1. Interfaz SIMIO .....	46
3.5.2. Librería estándar (Standard Library).....	49
3.5.3. Panel de procesos (Processes panel) .....	61
3.5.4. Panel de definición (Definitions panel).....	63
3.5.5. Panel de datos (Data panel).....	64
Bibliografía .....	66

4. Definición del problema.....	68
5. Construcción del modelo de simulación .....	70
5.1. Obtención de datos .....	70
5.1.1. Módulo de Carrocerías .....	70
5.1.2. Body In White (BIW).....	73
5.1.3. Módulo de Pinturas .....	74
5.1.4. Automatic Storage Retrieval System (ASRS).....	76
5.1.5. Módulo de Trim .....	76
5.2. Introducción datos en Simio.....	78
5.2.1. Entrada de Material .....	78
5.2.2. Módulo de Carrocerías .....	84
5.2.3. Body In White (BIW).....	90
5.2.4. Módulo de Pinturas .....	94
5.2.5. Automatic Storage Retrieval System (ASRS).....	107
5.2.6.1. Horarios y propiedades Trim.....	107
6. Validación del modelo .....	110
7. Diseño y realización del experimento .....	118
7.1. Experimento 1 .....	119
7.2. Experimento 2 .....	125
7.3. Experimento 3 .....	131
7.4. Experimento 4 .....	139
7.5. Experimento 5 .....	145
7.6. Experimento 6 .....	152
7.7. Experimento 7 .....	159
7.8. Experimento 8 .....	166
7.9. Experimento 9 .....	174
7.10. Experimento 10 .....	182
7.11. Resultados experimentos.....	188
8. Evaluación de los resultados .....	192
9. Líneas de futuro.....	196
10. Presupuesto .....	200

Anexos.....	204
Anexo I: Propiedades del Servidor.....	204
Anexo II: Tipos de Proceso Complemento .....	206
Anexo III: Tipos de Datos.....	208
Anexo IV: Horarios Planta de Producción.....	209
Anexo V: Introducción datos EntradaMaterial1 .....	212
Anexo VI: Introducción datos EntradaMaterial2.....	214
Anexo VII: Introducción datos EntradaMaterial3.....	216
Anexo VIII: Introducción datos Horario Carrocerías2 y Carrocerías3 .....	219
Anexo IX: Introducción datos Carrocerías2.....	220
Anexo X: Introducción datos Carrocerías3.....	221
Anexo XI: Introducción datos Pinturas.....	222
Anexo XII: Procesos Línea de Pinturas2 .....	229
Anexo XIII: Introducción datos Automatic Storage Retrieval System (ASRS) .....	231
Anexo XIV: Proceso SalidaASRS .....	232
Anexo XV: Introducción datos Trim .....	235
Anexo XVI: Procesos Módulo de Trim .....	240



## Índice ilustraciones

Ilustración 1: Área de Carrocerías (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España) .....	26
Ilustración 2: Área de Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España) .....	27
Ilustración 3: Estructura Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España) .....	28
Ilustración 4: Relación Modelo de Vehículos y Líneas de Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España).....	28
Ilustración 5: Área de Montaje (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España) .....	30
Ilustración 6: Relación Modelo de Vehículos y Líneas de Trim (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España).....	30
Ilustración 7: Características de la Simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)).....	34
Ilustración 8: Proceso de simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)) .....	36
Ilustración 9: Pasos para la Construcción del Modelo (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)) .....	37
Ilustración 10: Tipos de Validación de un Modelo de Simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)).....	39
Ilustración 11: Características Comunes de los Lenguajes de Simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)) .....	42
Ilustración 12: Definición de las Partes de un Objeto (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	45
Ilustración 13: Interfaz SIMIO (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	46
Ilustración 14: Estructura Interfaz SIMIO (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	47
Ilustración 15: Paneles Visualización SIMIO (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	48

Ilustración 16: Objetos Librería Estándar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	49
Ilustración 17: Objetos Librería Estándar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) (continuación de la ilustración 16) .....	50
Ilustración 18: Representación Gráfica Source (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	51
Ilustración 19: Composición Source (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	52
Ilustración 20: Propiedades del Objeto Source (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	52
Ilustración 21: Tipos de "Arrival Mode" (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	53
Ilustración 22: Representación Gráfica Sink (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	54
Ilustración 23: Composición Sink (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	54
Ilustración 24: Propiedades del Objeto Sink (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	55
Ilustración 25: Representación Gráfica Server (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	55
Ilustración 26: Composición Server (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	56
Ilustración 27: Propiedades del Objeto Server (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	56
Ilustración 28: Representación Gráfica Connector (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	57
Ilustración 29: Propiedades del Objeto Connector (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	57
Ilustración 30: Representación Gráfica ModelEntity (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	58
Ilustración 31: Propiedades del Objeto ModelEntity (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	58



Ilustración 32: Representación Gráfica BasicNode (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	59
Ilustración 33: Representación Gráfica TransferNode (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	59
Ilustración 34: Propiedades del Objeto BasicNode y TransferNode (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	60
Ilustración 35: Tipos de Procesos en BasicNode y TransferNode (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	60
Ilustración 36: Pasos de Procesos (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	63
Ilustración 37: Tipos de Definición (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	64
Ilustración 38: Relación Modelo de Vehículos y Líneas de Carrocerías (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España).....	72
Ilustración 39: Esquema Planta Ford Almussafes (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	78
Ilustración 40: Propiedades EntradaMaterial1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	80
Ilustración 41: Proceso AsignarModelo1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	81
Ilustración 42: Proceso AsignarModelo3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	83
Ilustración 43: Creación Horarios Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	84
Ilustración 44: Introducción Horario Diario Carrocería1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	85
Ilustración 45: Introducción Calendario Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	86
Ilustración 46: Propiedades Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	86
Ilustración 47: Introducción Tabla Datos Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	87

Ilustración 48: Propiedades Carrocería1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	88
Ilustración 49: Proceso DecidirBIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	90
Ilustración 50: Propiedades BIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	91
Ilustración 51: Introducción Eventos SalirBIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	92
Ilustración 52: Introducción Tabla Eventos SalidaBIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	92
Ilustración 53: Proceso SalidaBIW1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	93
Ilustración 54: Definición Estados ProduccionPinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	95
Ilustración 55: Diagrama de Flujo Proceso ActualizarProduccionPinturas1 (elaboración propia).....	96
Ilustración 56: Proceso ActualizarProduccionPinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	97
Ilustración 57: Introducción Tabla Volumen Producción Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	97
Ilustración 58: Variable "i" (elaboración propia).....	98
Ilustración 59: Variable "imin" (elaboración propia).....	99
Ilustración 60: Variable "iminprod" (elaboración propia).....	99
Ilustración 61: Diagrama de Flujo Proceso CalcularMinimoPinturas1 (elaboración propia).....	100
Ilustración 62: Proceso CalcularMinimoPinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	102
Ilustración 63: Proceso Iniciar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	103
Ilustración 64: Diagrama de Flujo Proceso DemandaPinturas1 (elaboración propia) .	103

Ilustración 65: Proceso DemandaPinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	104
Ilustración 66: Diagrama de Flujo Proceso Pinturas (elaboración propia).....	105
Ilustración 67: Proceso Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	106
Ilustración 68: Propiedades Etiqueta ProduccionPinturas1 para Kuga (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	111
Ilustración 69: Resultados Producción Diaria Pinturas y Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	112
Ilustración 70: Nivel Almacén BIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	114
Ilustración 71: Nivel Stock BIW por Modelo (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	114
Ilustración 72: Nivel de Stock BIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	115
Ilustración 73: Nivel Almacén ASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	116
Ilustración 74: Nivel Stock ASRS por Modelo (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	117
Ilustración 75: Resultados Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 1).....	122
Ilustración 76: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 1 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 1) .....	123
Ilustración 77: Resultados Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 2).....	128
Ilustración 78: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 2 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 2) .....	129
Ilustración 79: Relación Modelo Vehículos y Líneas de Producción Experimento 3 (elaboración propia a partir de datos Ford España).....	132
Ilustración 80: Resultados Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 3).....	136

Ilustración 81: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 3 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 3) .....	137
Ilustración 82: Relación Modelo Vehículos y Líneas de Producción Experimento 4 (elaboración propia a partir de datos Ford España).....	140
Ilustración 83: Resultados Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 4).....	142
Ilustración 84: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 4 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 4) .....	144
Ilustración 85: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 5 (elaboración propia a partir de datos Ford España).....	146
Ilustración 86: Resultados Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 5).....	150
Ilustración 87: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 5 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 5) .....	151
Ilustración 88: Resultados Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 6).....	157
Ilustración 89: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 6 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 6) .....	158
Ilustración 90: Resultados Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 7).....	163
Ilustración 91: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 7 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 7) .....	164
Ilustración 92: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 8 (elaboración propia a partir de datos Ford España).....	167
Ilustración 93: Resultados Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 8).....	170
Ilustración 94: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 8 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 8) .....	172
Ilustración 95: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 9 (elaboración propia a partir de datos Ford España).....	175
Ilustración 96: Resultados Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 9).....	179

Ilustración 97: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 9 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 9) .....	180
Ilustración 98: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 10 (elaboración propia a partir de datos Ford España).....	183
Ilustración 99: Resultados Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 10).....	186
Ilustración 100: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 10 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 10) .....	187
Ilustración 101: Restricciones de producción (elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en los experimentos).....	193
Ilustración 102: Propiedades EntradaMaterial1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	212
Ilustración 103: Proceso AsignarModelo1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	213
Ilustración 104: Propiedades EntradaMaterial2 (elaboración a partir del programa de simulación SIMIO).....	214
Ilustración 105: Proceso AsignarModelo2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	215
Ilustración 106: Propiedades EntradaMaterial3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	216
Ilustración 107: Proceso AsignarModelo3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	218
Ilustración 108: Introducción Horario Diario Carrocería2 y Carrocería3 (elaboracion propia a partir del programa de simulación SIMIO) .....	219
Ilustración 109: Propiedades Carrocería2 (elaboración propia partir del programa de simulación SIMIO).....	220
Ilustración 110: Propiedades Carrocería3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	221
Ilustración 111: Creación Horarios Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	222
Ilustración 112: Introducción Horario Diario Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	223

Ilustración 113: Introducción Calendario Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	224
Ilustración 114: Propiedades Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	224
Ilustración 115: Introducción Tabla Datos Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	225
Ilustración 116: Propiedades Pinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	226
Ilustración 117: Propiedades Pinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	226
Ilustración 118: Proceso DecidirASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	228
Ilustración 119: Proceso ActualizarProduccionPinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	229
Ilustración 120: Proceso DemandaPinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	229
Ilustración 121: Proceso CalcularMinimoPinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	230
Ilustración 122: Propiedades ASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	231
Ilustración 123: Introducción Eventos SalirASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	232
Ilustración 124: Introducción Tabla Eventos SalidaASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	233
Ilustración 125: SalidaASRS1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	234
Ilustración 126: Creación Horarios Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	235
Ilustración 127: Introducción Tabla Datos Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	236
Ilustración 128: Propiedades Trim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	237

Ilustración 129: Propiedades Trim2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	237
Ilustración 130: Introducción Horario Diario Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	238
Ilustración 131: Introducción Calendario Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	239
Ilustración 132: Propiedades Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	239
Ilustración 133: Definición Estados ProduccionTrim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	241
Ilustración 134: Proceso ActualizarProduccionTrim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	242
Ilustración 135: Introducción Tabla Volumen Producción Trim (elaboración propia a partir de del programa de simulación SIMIO).....	242
Ilustración 136: Variable "x" (elaboración propia).....	243
Ilustración 137: Variable "xmin" (elaboración propia).....	244
Ilustración 138: Variable "xminprod" (elaboración propia).....	244
Ilustración 139: Proceso CalcularMinimoTrim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	246
Ilustración 140: Proceso Iniciar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	247
Ilustración 141: Proceso DemandaTrim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	248
Ilustración 142: Proceso Trim (imagen extraída del programa de simulación SIMIO)	248
Ilustración 143: Proceso DemandaTrim2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	250
Ilustración 144: Proceso ActualizarProduccionTrim2 (elaboración propia del programa de simulación SIMIO).....	250
Ilustración 145: Proceso CalcularMinimoTrim2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO).....	251





## Índice tablas

Tabla 1: Ventajas e Inconvenientes de Utilizar la Simulación como Herramienta (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)).....	35
Tabla 2: Mix de Producción en la Planta de Almussafes (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados).....	70
Tabla 3: Producción Módulo Carrocerías (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados) .....	72
Tabla 4: Tiempo de Ciclo en las Líneas de Carrocerías (elaboración propia a partir de cálculos realizados).....	73
Tabla 5: Producción Pinturas (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados) .....	74
Tabla 6: Producción Módulo Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados) .....	75
Tabla 7: Tiempo de Ciclo en las Líneas de Pinturas (elaboración propia a partir de cálculos realizados).....	75
Tabla 8: Producción Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España) .....	76
Tabla 9: Producción Módulo Trim (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados) .....	77
Tabla 10: Tiempo de Ciclo en las Líneas de Trim (elaboración propia a partir de cálculos realizados).....	77
Tabla 11: Mix de Producción en la Entrada de Material (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados).....	79
Tabla 12: Relación Modelo de Vehículo y Variable ModelEntity.Modelo (elaboración propia).....	81
Tabla 13: Mix de Producción EntradaMaterial3 (elaboración propia).....	82
Tabla 14: Clasificación BIW (elaboración propia).....	89
Tabla 15: Correspondencia Posición Vector ProduccionPinturas (elaboración propia)	95
Tabla 16: Producción Diaria Teórica Pinturas y Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford) .....	110

Tabla 17: Diferencia Producción Teórica y Simulada en Pinturas y Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford y resultados obtenidos)	113
Tabla 18: Experimentos a Realizar (elaboración propia a partir de la decisión de casos a estudiar)	118
Tabla 19: Mix de Producción Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 1)	119
Tabla 20: Producción por Modelos Objetivo Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 1)	120
Tabla 21: Producción por Modelos Obtenida Experimento 1 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 1)	121
Tabla 22: Resultados Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 1)	122
Tabla 23: Mix de Producción Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 2)	125
Tabla 24: Producción por Modelos Objetivo Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 2)	126
Tabla 25: Producción por Modelos Obtenida Experimento 2 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 2)	127
Tabla 26: Resultados Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 2)	128
Tabla 27: Mix de Producción Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 3)	131
Tabla 28: Producción por Modelos Objetivo Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 3)	133
Tabla 29: Producción por Modelos Obtenida Experimento 3 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 3)	134
Tabla 30: Resultados Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 3)	135
Tabla 31: Mix de Producción Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 4)	139
Tabla 32: Producción por Modelos Objetivo Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 4)	140

Tabla 33: Producción por Modelos Obtenida Experimento 4 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 4) .....	141
Tabla 34: Resultados Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 4) .....	142
Tabla 35: Mix de Producción Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 5) .....	145
Tabla 36: Producción por Modelos Objetivo Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 5) .....	147
Tabla 37: Producción por Modelos Obtenida Experimento 5 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 5) .....	148
Tabla 38: Resultados Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 5) .....	149
Tabla 39: Mix de Producción Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 6) .....	152
Tabla 40: Producción por Modelos Objetivo Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 6) .....	154
Tabla 41: Producción por Modelos Obtenida Experimento 6 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 6) .....	155
Tabla 42: Resultados Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 6) .....	156
Tabla 43: Mix de Producción Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 7) .....	159
Tabla 44: Producción por Modelos Objetivo Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 7) .....	160
Tabla 45: Producción por Modelos Obtenida Experimento 7 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 7) .....	161
Tabla 46: Resultados Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 7) .....	162
Tabla 47: Mix de Producción Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 8) .....	166
Tabla 48: Producción por Modelos Objetivo Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 8) .....	168

Tabla 49: Producción por Modelos Obtenida Experimento 8 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 8) .....	169
Tabla 50: Resultados Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 8) .....	170
Tabla 51: Mix de Producción Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 9) .....	174
Tabla 52: Producción por Modelos Objetivo Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 9) .....	176
Tabla 53: Producción por Modelos Obtenida Experimento 9 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 9) .....	177
Tabla 54: Resultados Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 9) .....	178
Tabla 55: Mix de Producción Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 10) .....	182
Tabla 56: Producción por Modelos Objetivo Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 10) .....	184
Tabla 57: Producción por Modelos Obtenida Experimento 10 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 10) .....	185
Tabla 58: Resultados Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 10) .....	185
Tabla 59: Resultados de los Experimentos (elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en la simulación de los experimentos) .....	190
Tabla 60: Propiedades del Objeto Servidor (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	204
Tabla 61: Propiedades del Objeto Servidor (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) (continuación de la tabla 60) .....	205
Tabla 62: Tipos de Proceso Complemento (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) .....	206
Tabla 63: Tipos de Proceso Complemento (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) (continuación de la tabla 62) .....	207
Tabla 64: Tipos de Datos (elaboración propia a partir del programas de simulación SIMIO) .....	208

Tabla 65: Horario del Módulo de Carrocerías (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España).....	209
Tabla 66: Horario del Módulo de Pinturas (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España) .....	210
Tabla 67: Horario del Módulo de Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España) .....	211
Tabla 68: Mix de Producción EntradaMaterial3 (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España).....	217
Tabla 69: Clasificación ASRS (elaboración propia) .....	227
Tabla 70: Correspondencia Posición Vector ProduccionTrim (elaboración propia) ...	240



## **1. Objeto, justificación y motivación**

El objetivo de este proyecto es realizar un modelo de simulación que represente la planta de producción de la empresa Ford situada en Almussafes (Valencia). Este modelo de simulación es altamente útil para la empresa dado que se va a realizar un cambio de producción en el que se pasa de fabricar tres modelos de vehículos a fabricar cinco modelos de vehículos y no se sabe cuál va a ser el comportamiento de dicha planta ante esta nueva situación.

También será objeto de este proyecto el investigar qué ocurre con la producción en esta factoría en el caso de que el entorno tuviera cambios importantes. Para ello se analizarán diversas situaciones en las que se plantean cambios en la demanda y se verá cual es el comportamiento de la planta de producción y si se cumple en cada situación con la demanda planteada.

Como ya se ha mencionado anteriormente, hasta este momento se realizaba la fabricación de tres modelos de automóvil en dicha planta (Kuga, Transit, C-Max), pero con el nuevo cambio se van a llegar a fabricar cinco modelos simultáneamente (Transit, Kuga, Mondeo, Galaxy y S-Max).

De esta manera se tendrá que tener en cuenta que habrá un mix de producción diferente, se tendrá la misma cantidad de maquinaria para fabricar más vehículos y más variados, se dispondrá de los mismos almacenes pero teniendo que almacenar un mayor número de automóviles y de más modelos, y que habrá que cumplir con la demanda que se prevea en cada momento para la fabricación.

Se trata de un proyecto académico que conduce a la obtención del Grado en Ingeniería de Organización Industrial.





## 2. Antecedentes

### 2.1. Introducción Just In Time

En 1977, los principios de la fabricación en Just In Time (Justo a Tiempo) fueron planteados por el Toyota Production System. Los sistemas de producción son normalmente complejos por lo que con la ayuda de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) se ha podido aumentar la eficiencia de la producción y, por consiguiente, se han reducido los costes del proceso de fabricación. Para ello, todas las empresas del sector automovilístico emplean herramientas como los ERP<sup>1</sup> y los MRP<sup>2</sup> para comunicar la demanda de producción a lo largo de toda la cadena de suministro.

Para realizar la planificación de la cadena de suministro utilizando la filosofía Just In Time no se necesita solamente tener en cuenta el material y los recursos disponibles. También se han de tener en cuenta las listas de materiales alternativas para poder seleccionarlos tratando de optimizar el uso de los transportes y por tanto, disminuir sus costes (rentabilizar sistemas de transporte).

Se debe tener claro el concepto del Just In Time dado que uno de los requisitos impuestos por la empresa Ford es trabajar bajo esta filosofía y por tanto, asegurar que hay un flujo continuo de materiales en la producción de los vehículos.

---

<sup>1</sup> Los ERP son sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción y de los aspectos de distribución de una compañía en la producción de bienes o servicios.

<sup>2</sup> Los MRP es un Sistema de Planificación y Administración, usualmente asociada con un software basado en la planificación de la producción y el sistema de control de inventarios usado para los procesos de manufactura gerencial.

## 2.2. Planta Ford Almussafes

La empresa Ford Motor Company es una multinacional estadounidense fundada en el año 1903 por Henry Ford. Esta empresa se basaba en la fabricación de automóviles de manera que los vehículos tuvieran un precio razonable, que fueran coches fiables y eficaces.

La planta de la empresa correspondiente a España está situada en Almussafes. Esta planta fue inaugurada en el año 1976 aunque su construcción se comenzó en el año 1974 y el primer motor se fabricó en el año 1975.

El primer vehículo que se fabricó íntegramente en la factoría de Almussafes fue un Ford Fiesta que fue acabado en octubre de 1976. La planta de Almussafes tiene una superficie de más de 270 hectáreas, de los que al menos 550.000 metros cuadrados pertenecen a edificios y plantas de trabajo.

Todo el complejo productivo de Almussafes se divide en cuatro grandes áreas: los departamentos de servicios, la planta de recambios, la planta de motores y el área de fabricación de vehículos.

Los departamentos de servicios se conforman de las Oficinas Centrales, el Centro de Formación, unas instalaciones deportivas y otros servicios auxiliares de la empresa.

La planta de recambios es un gran almacén situado en la parte norte de la factoría. En él se almacenan diferentes recambios de las piezas que sirven para abastecer a todo el mercado nacional en los casos en que se demandan.

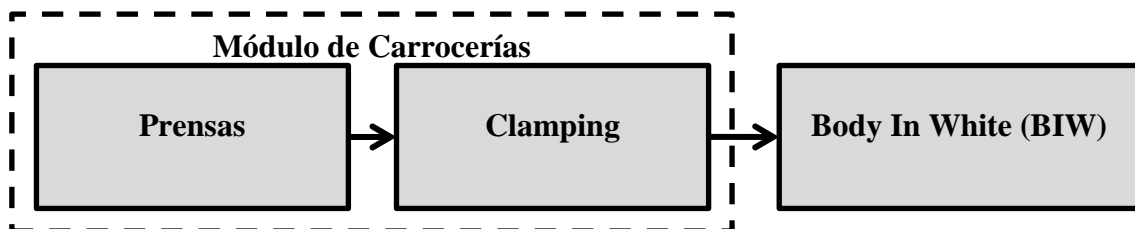
La planta de motores se compone por dos subplantas. Una en la que se mecanizan las diferentes piezas que componen los motores y otra en la que se procede al montaje de dichos motores. Estos motores son los que se utilizan posteriormente en el área de fabricación de vehículos.

El área de fabricación de vehículos es el área donde se fabrican los automóviles. Esta área está comprendida de las plantas de Prensas, Carrocerías, Pintura y Montaje Final.

### 2.3. Descripción de la factoría y su proceso de fabricación

#### 2.3.1. Área de Carrocerías

Esta parte de la factoría se compone a su vez de tres plantas: la planta de prensas, la planta de Clamping y el almacén Body In White (BIW). En este proyecto se nombrará como Módulo de Carrocerías al conjunto de Prensas y de Clamping. La composición de dicha área se muestra en la ilustración 1.



**Ilustración 1: Área de Carrocerías (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)**

En la planta de prensas existen más de 50 prensas que se utilizan para fabricar los diferentes tipos de piezas que compondrán cada uno de los modelos de vehículos. Para estas piezas se emplean diferentes tipos de chapas que se reciben de diferentes proveedores.

En la planta de Clamping se realiza el ensamble de las diferentes partes fabricadas en las prensas. Así pues, se ensamblan el piso de la carrocería (y también se procede a su soldadura), los laterales, el techo y por último, el ensamble de las puertas, el portón y el capo.

Por último, se dispone del almacén Body In White (BIW) que es donde se almacenan las diferentes carrocerías para realizar una secuenciación pertinente para entrar a la siguiente planta de la factoría (área de pinturas).

### 2.3.2. Área de Pinturas

Este área está compuesta por dos líneas de Pinturas y por el almacén llamado Automatic Storage Retrieval System (ASRS). La composición de esta área se puede observar gráficamente en la ilustración 2.

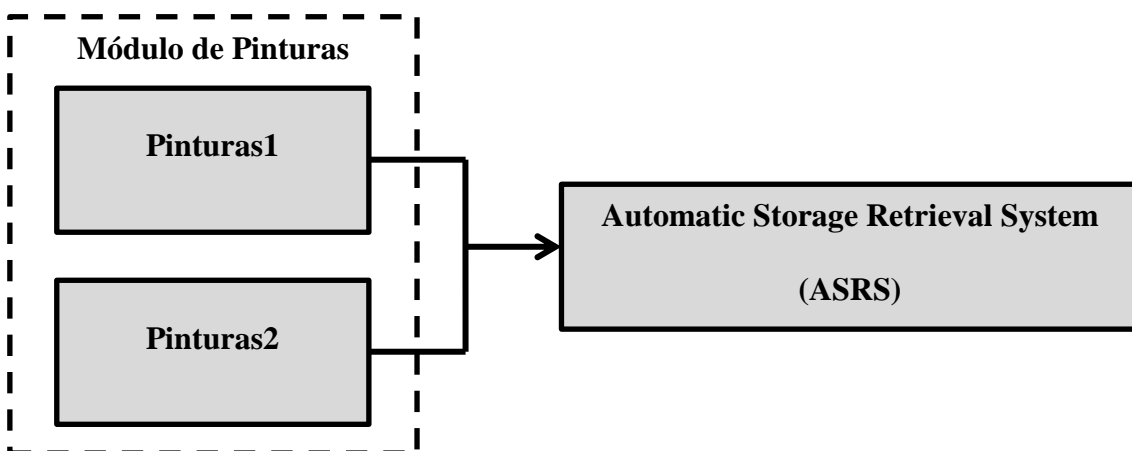
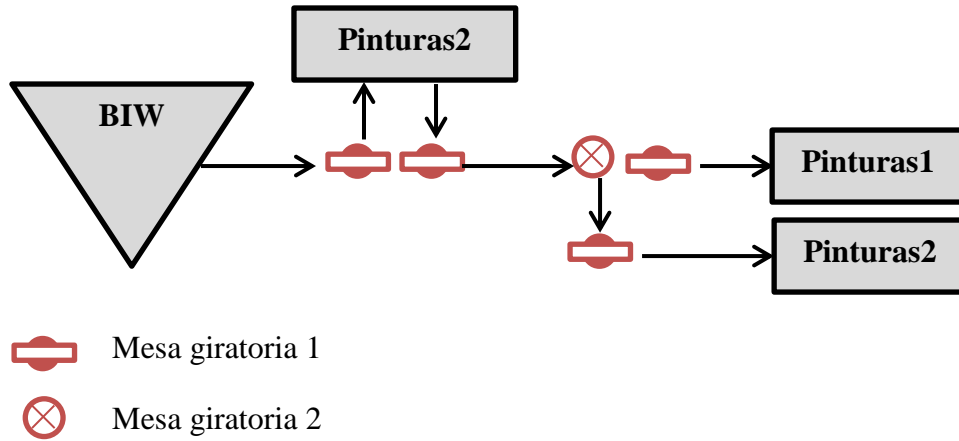


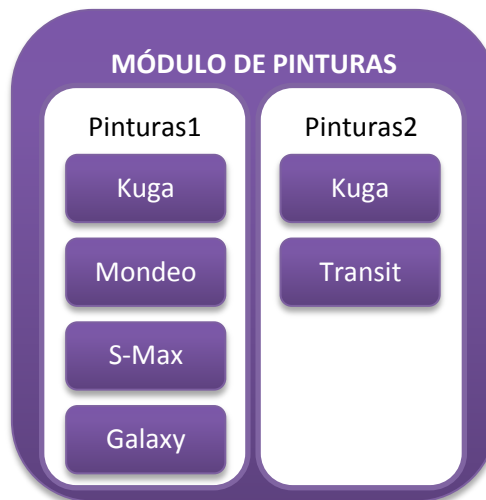
Ilustración 2: Área de Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)

La estructura interna del módulo de Pinturas es el que aparece en la ilustración 3. En ella se ve claramente como ambas líneas de Pinturas son diferentes y esto se debe a que el proceso en cada una de ellas es diferente.



**Ilustración 3: Estructura Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)**

Cada uno de los modelos de vehículos que se podrá fabricar en la planta de Almussafes se puede procesar en una de las líneas de Pinturas ya que en ellas se realizan diferentes procesos. La relación entre cada uno de los modelos de vehículos y la línea de pinturas donde puede ser procesado es la presentada en la ilustración 4.



**Ilustración 4: Relación Modelo de Vehículos y Líneas de Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)**

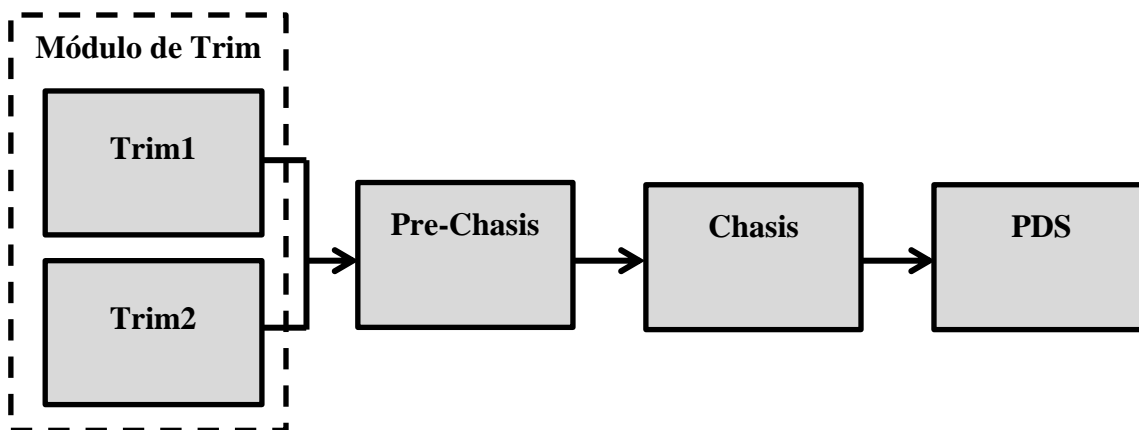
En cuanto al proceso que se lleva a cabo en el área de Pinturas, en primer lugar se secuencia a la salida del almacén Body In White (BIW) perteneciente al área de carrocerías el modelo de vehículo que a continuación se ha de pintar y se manda a la línea de Pintura correspondiente.

El proceso dentro de estas líneas de pinturas se compone por el lavado de la carrocería, la fosfatación de la misma y su posterior lavado con agua desmineralizada, para poder sumergir la carrocería en pintura acrílica por electro catálisis. Por último se vuelve a lavar con agua desmineralizada a una determinada temperatura y se seca la carrocería en un horno. Tras esto, se pinta la carrocería por medio de robots y posteriormente se seca mediante el uso de hornos.

Por último, las carrocerías ya pintadas se almacenan en el Automatic Storage Retrieval System (ASRS) donde se reorganizarán para realizar la secuenciación de los coches que se manden al área de montaje.

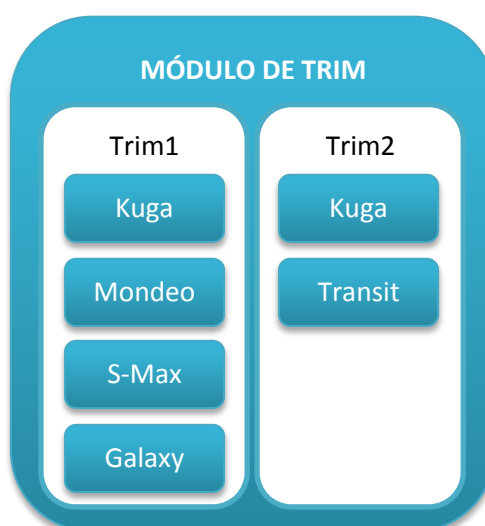
### **2.3.3. Área de Montaje**

El área de montaje está compuesta por varias fases: en primer lugar hay dos líneas paralelas de Trim (al conjunto de las cuales se llamará Módulo de Trim), después se encuentra las fases de Pre-Chasis, Chasis y PDS. Al acabar el proceso del área de montaje se considera que el vehículo está ya finalizado. La composición de esta área se puede observar gráficamente en la ilustración 5.



**Ilustración 5: Área de Montaje (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)**

En cuanto el proceso que se realiza dentro del área de montaje, en el módulo de Trim se realiza el montaje de guarnecidos y el cableado electrónico interno de los vehículos. En cada una de las plantas se realizan unos modelos aunque el proceso a realizar sea el mismo. La relación entre cada uno de los modelos de vehículos y la línea de pinturas donde puede ser procesado es la presentada en la ilustración 6.



**Ilustración 6: Relación Modelo de Vehículos y Líneas de Trim (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)**

En la fase de Pre-Chasis se sigue con el montaje, de manera que se ensamblan las puertas. Y en la fase de Chasis se montan las partes mecánicas, el motor, la caja, los discos de freno, los ejes, la transmisión, la suspensión, las ruedas, etc.

Por último, en la fase de PDS se realizan las pruebas a los vehículos fabricados. Las pruebas a realizar son las pruebas de aceleración, de alineación, de estanqueidad entre otras.



### **3. Metodología utilizada en el proyecto**

#### **3.1. Simulación**

La definición de simulación no es única sino que depende del área en la que se aplique. Así, según el diccionario de la Real Academia Española, simular es “representar algo, fingiendo o imitando lo que no es”. Por otra parte, se define la simulación en el área tecnológica como “la utilización del ordenador para la reproducción aproximada y el estudio de un fenómeno”.

Dentro del campo científico, el concepto de simulación ha ido evolucionando a lo largo de la historia de una forma paralela a la Investigación Operativa. Esta evolución ha estado condicionada también por el desarrollo de los ordenadores personales y su capacidad de operar, ya que los ordenadores son el soporte necesario para realizar una simulación.

Esta evolución del término de simulación se puede ver en las distintas definiciones recogidas en la literatura (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993):

Naylor (1971) “La simulación es una técnica numérica para realizar experimentos con cierto tipo de modelos matemáticos que describen el comportamiento de sistemas complejos a lo largo de grandes periodos de tiempo”.

Shannon (1975) “La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del mismo”.

Prawda (1980) “La simulación es un proceso numérico diseñado para experimentar el comportamiento de cualquier sistema en una computadora digital a lo largo de la dimensión tiempo”.

En los últimos años se han propuesto otras definiciones como la de la compañía Gartner que afirma que la simulación es usar herramientas analíticas y modelos para maximizar los procesos del negocio y la efectividad de las decisiones al examinar los diferentes resultados y escenarios, antes, durante y después de que el proceso sea implantado y ejecutado en una empresa (Gartner, 2009).

Con esto, se puede concluir que la simulación es una técnica que permite conocer los posibles comportamientos que tiene un sistema ante diferentes situaciones y que sirve para maximizar los resultados de una empresa así como para ser un apoyo en la toma de decisiones de la misma.

En estas definiciones intervienen una serie de términos como modelo, sistema, proceso y experimentación cuyo significado conviene aclarar a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993).

Un modelo es una abstracción del mundo real, idéntica y simplificada que muestra las relaciones de acción-reacción en términos de causa-efecto y que se usa con fines de predicción y de control del sistema.

Un sistema es un conjunto de objetos o ideas que están interrelacionadas entre sí como una unidad para la consecución de un fin.

Un proceso es un conjunto de actividades tendentes a la consecución de un fin. En una simulación, se puede decir que es el conjunto de actividades que permiten imitar el comportamiento del sistema real y sacar conclusiones del mismo, mediante la experimentación del modelo apropiado al sistema considerado.

La experimentación consiste en el estudio de un fenómeno reproducido repetidas veces en las condiciones particulares de estudio que interesan, eliminando o introduciendo aquellas variables que puedan influir en él.

### 3.2. Características de la simulación

Las características más destacadas de la simulación son las que aparecen en la ilustración 7.



**Ilustración 7: Características de la Simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993))**

También es interesante para este proyecto conocer cuáles son las ventajas e inconvenientes de utilizar la simulación como herramienta. Estas ventajas e inconvenientes aparecen reflejados en la tabla 1.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La teoría necesaria para su desarrollo es bastante sencilla.</li> <li>• La herramienta fundamental de la simulación, el ordenador, se encuentra al alcance de cualquier usuario.</li> <li>• La flexibilidad del modelo de simulación permite la agregación de muchas relaciones e interdependencias elementales que afectan tanto a las variables endógenas como exógenas.</li> <li>• Los modelos de simulación permiten estudiar el sistema sin modificarlo y mejoran la efectividad de las estrategias consideradas.</li> <li>• Los modelos de simulación generan una visión macro y micro del sistema en estudio mucho más profunda y detallada que los modelos analíticos o numéricos empleados en la resolución de problemas.</li> <li>• El carácter descriptivo de los modelos de simulación permite la realización de un análisis de sensibilidad que conteste a preguntas del tipo ¿Qué sucede si...?</li> <li>• La simulación mejora el conocimiento del sistema y se puede utilizar en todos los niveles de la organización: operativos, tácticos y estratégicos.</li> <li>• El modelo de simulación es válido para el problema concreto que se esté estudiando, y no tiene por qué resolver otros problemas.</li> <li>• La simulación permite abordar situaciones complejas sin tener que recurrir a una excesiva simplificación.</li> <li>• La simulación permite tratar problemas planteados en amplios periodos de tiempo en un tiempo reducido.</li> <li>• La simulación sirve para detectar los factores, actores e interrelaciones relevantes en cualquier estudio.</li> <li>• Los estudios de simulación permiten balancear el tamaño de la misma y el costo asociado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se garantiza la consecución de una solución óptima.</li> <li>• La construcción de un modelo de simulación suele ser un proceso lento y costoso.</li> <li>• La construcción de un modelo de simulación preciso exige un conocimiento profundo del problema y un continuo interface entre el analista y el decisor.</li> <li>• En los experimentos diseñados se requiere la utilización de muestras, de las que se debe contrastar su aleatoriedad.</li> <li>• Las implicaciones y resultados obtenidos en un proceso de simulación no suelen ser transferibles a otros problemas. Eso se debe a que el modelo de simulación recoge factores únicos del problema.</li> <li>• La simulación resulta, a veces, tan fácil de aplicar que favorece la subestimación de sus resultados, supervalorando los de los procedimientos analíticos</li> </ul>

**Tabla 1: Ventajas e Inconvenientes de Utilizar la Simulación como Herramienta (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993))**

### 3.3. Metodología de la simulación: Proceso de simulación

La simulación es un proceso complejo para cuyo estudio conviene considerar diferentes etapas. Cada usuario puede establecer un proceso diferente pero en este caso, se llevará a cabo un proceso de seis etapas que aparece en la ilustración 8.

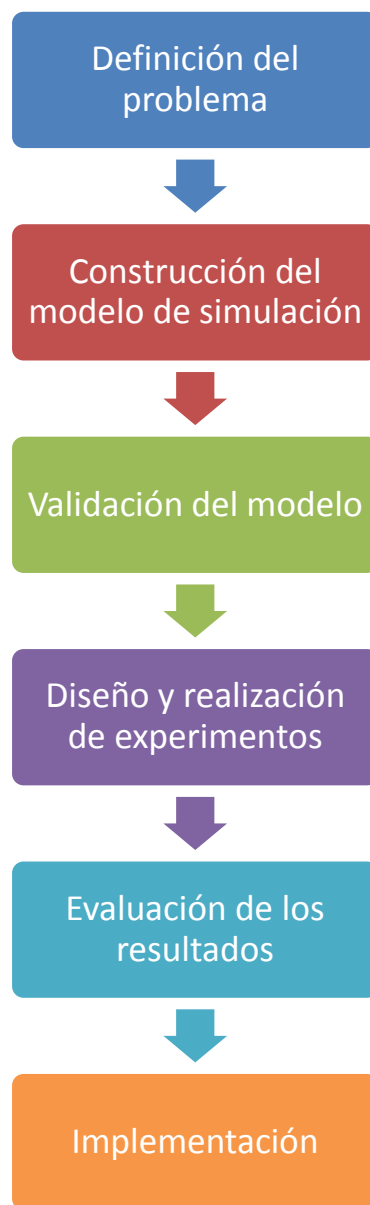


Ilustración 8: Proceso de simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993))

### 3.3.1. Definición del Problema

En esta etapa se identifican las condiciones necesarias para que el problema exista. Tras esto se analiza y clasifica el problema, indicando las partes del mismo en las que es necesaria la simulación.

### 3.3.2. Construcción del modelo de simulación

La modelización es la fase más complicada de todo el proceso de simulación. Del éxito de esta fase van a depender en buen grado los resultados obtenidos al final.

Aunque no se puede dar un procedimiento sistemático para modelizar, se pueden establecer una serie de pasos que conviene tener presentes como los que aparecen en la ilustración 9.

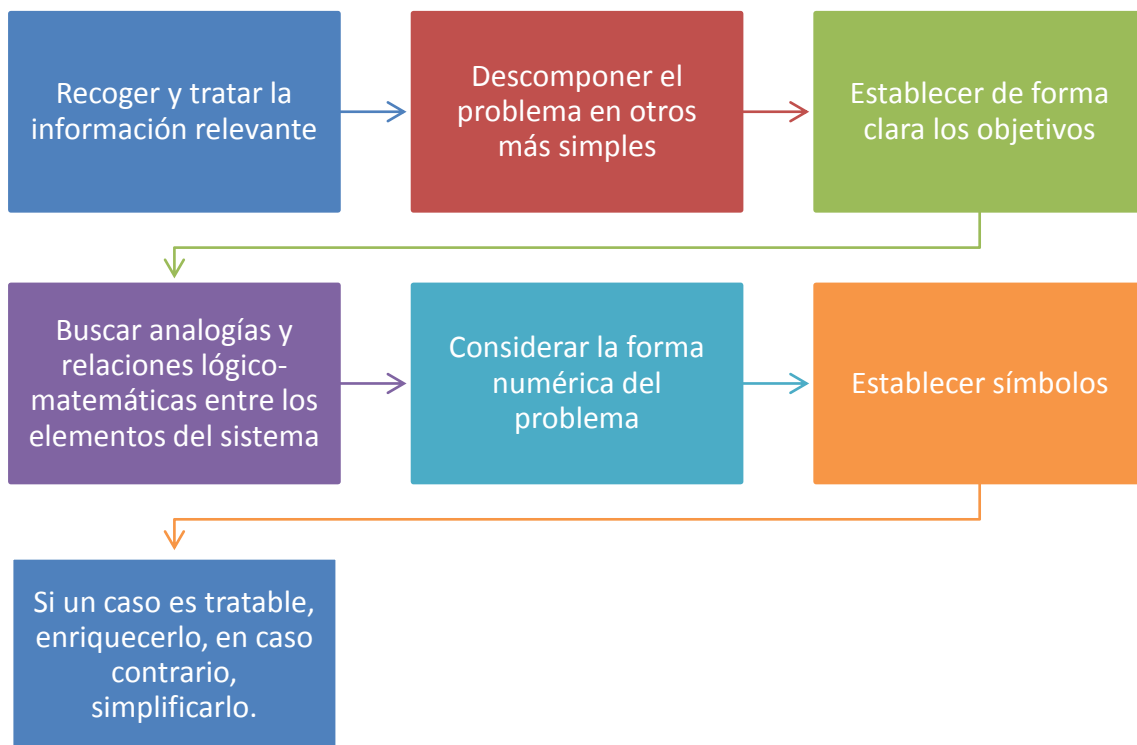


Ilustración 9: Pasos para la Construcción del Modelo (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993))

Para simplificar un modelo se puede hacer, entre otras cosas, que algunas variables sean constantes, eliminar variables, suponer la linealidad de alguna función y añadir condiciones o restricciones más fuertes.

Hay que recordar que la simulación no resuelve el sistema, sino el modelo simplificado que se ha construido. Por tanto, cabe evidencias que cuanto más se simplifique el modelo, más se alejará de la realidad. Sin embargo, si el modelo no se simplifica, seguramente no podrá ser resuelto. En ese sentido, hay que tener presente dos conceptos: sencillez y representatividad.

### 3.3.3. Validación del modelo

El proceso de validación consiste en contestar una serie de cuestiones, teóricas y prácticas, relativas al uso de la técnica de simulación.

- ¿Cómo se sabe si un modelo representa el proceso en estudio?
- ¿Cómo se pueden utilizar los resultados para realizar predicciones que sean empíricamente precisas?

Generalmente los modelos de simulación son representaciones numéricas del sistema y no están sujetos a una ley física, por ello su validación no resulta sencilla ni existe unanimidad en la forma de llevarla a cabo. Algunos autores consideran que la validación puede ser de dos tipos los cuales aparecen en la ilustración 10.



**Ilustración 10: Tipos de Validación de un Modelo de Simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993))**

La validación a priori viene a determinar si el modelo creado es un buen reflejo del sistema real. Esto se suele realizar basándose en datos históricos siempre y cuando ello sea posible.

La validación a posteriori en cambio determina si los resultados de la experimentación son correctos o no. Esta validación se produce en la fase correspondiente al análisis de resultados. La validación del modelo suele realizarse comprobando si este se comporta de manera similar al fenómeno estudiado. El proceso de validación en este caso puede separarse a su vez en dos pasos: La validación interna que determina cuando el modelo es internamente correcto en el sentido lógico y la validación externa que determina cuando el modelo representa el fenómeno que se supone debe imitar.

#### **3.3.4. Diseño y realización del experimento**

Una vez validado el modelo se diseña el experimento de simulación. Aunque hay varios tipos de simulación, la realización del experimento en la mayoría de las situaciones exigirá, entre otras cosas, la generación de números aleatorios, desviaciones y reglas de parada.



La experimentación del modelo requiere, en la mayoría de casos, la utilización del ordenador y el empleo de algún lenguaje de programación apropiado.

El programa de ordenador asociado al modelo deberá permitir una manipulación eficiente del mismo. La validación del programa, teniendo presentes cuales son las condiciones fijadas para que el modelo sea útil en la experimentación suele realizarse mediante una serie de contrastes de significación entre los resultados de las múltiples iteraciones del experimento. Así mismo, se comparan los resultados de la simulación y la exactitud de su pronóstico con series históricas.

### 3.3.5. Evaluación de los resultados

Antes de implementar los resultados en el sistema, es preciso analizar su significado y si constituyen diferencias significativas. En esta fase se puede utilizar el análisis de sensibilidad de dos formas diferentes.

- Utilizando una aproximación de prueba y error. Se puede modificar los datos de entrada para analizar la robustez de las soluciones propuestas. Esto se suele realizar repitiendo el experimento con la opción “qué sucede si...”.
- Considerando el valor de la información adicional, estudiando si un mayor esfuerzo en este campo repercute en la obtención de mejores estimadores de los parámetros. Puede aplicarse siguiendo aproximaciones cualitativas o cuantitativas, cuando sea posible.

La ejecución del experimento proporcionará una serie de datos acerca de los parámetros considerados en el modelo, y más en general, del comportamiento del sistema que posteriormente se empleará con fines predictivos o normativos.

Si los datos no se corresponden con las expectativas y las conclusiones que de ellos se derivan no corresponden con los objetivos que se habían planteado, se debe cambiar el modelo y repetir el experimento.

### **3.3.6. Implementación**

La implementación de los resultados de la simulación presenta los mismos problemas que la implementación de cualquier otra solución de un problema. Sin embargo el éxito en este caso suele ser mayor, pues el proceso de abstracción necesario en el proceso de simulación es menor que el necesario en las resoluciones analíticas de los problemas, y el grado de participación del decisor, o usuario, es mayor.

## **3.4. Lenguajes y paquetes de simulación<sup>3</sup>**

Según algunos autores (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993) los modelos de simulación requieren pocas simplificaciones del sistema, necesitando por ello expresiones complejas para reflejar las interrelaciones existentes entre los diferentes elementos y actores que intervienen en el proceso de toma de decisiones.

Por otro lado, la estabilización de la simulación, así como las modificaciones de los datos de entrada y la configuración de diferentes modelos, exigen una reiteración de pruebas que hace imprescindible la utilización del ordenador.

La programación de los problemas de simulación suele ser relativamente sencilla, ya que no se necesitan algoritmos para la optimización del modelo, y puede realizarse en cualquiera de los lenguajes de ordenador convencionales (denominados lenguajes de propósito general) como son Fortran, C, Pascal...

---

<sup>3</sup> Basado en el libro Simulación de los autores (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993)

Por otra parte existen lenguajes de simulación (denominados lenguajes de propósito específico) que facilitan y aceleran la construcción de los modelos de simulación. Aunque difieren en su construcción, lógica, facilidad de manejo, accesibilidad y flexibilidad, todos ellos tienen presentes una serie de características. Se ha reflejado el conjunto de estas características en la ilustración 11.



**Ilustración 11: Características Comunes de los Lenguajes de Simulación (elaboración propia a partir de (Aguarón, Calvete, Lasala, Moreno, & Plo, 1993))**

Según (Banks, 1994), algunos de los lenguajes de simulación más representativos son DYNAMO, GASP, GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA o SLAM.

Al margen de los lenguajes de simulación, existen distintos paquetes informáticos, generalmente relativos a Sistemas Soporte de Decisión correspondientes a modelos de Investigación Operativa y de Estadística en los que se dispone de opciones asociadas a problemas de simulación estándar.

Algunos de los programas destacados son según (Banks, 1994) y otros autores: SIMUL8, FLEXIM, SIMFACTORY, ARENA y SIMIO.

#### **3.4.1. Selección de las alternativas**

Dado que en el problema objeto de este proyecto residen datos definidos por distribuciones estadísticas, se ha decidido optar por un programa de simulación ya que es la opción más fiable y recomendable.

Todos los programas de simulación que se han en el apartado anterior son software de pago por lo que, a partir de aquí solo se consideran las opciones a las que se puede acceder con los recursos disponibles.

En el Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Politécnica de Valencia, se dispone de las licencias de dos software de este tipo que se pueden utilizar con fines académicos, FLEXIM (o Taylor, Ed) y SIMIO.

Ambos programas de simulación cumplen a la perfección con los requisitos para poder realizar la simulación. Finalmente, se opta por utilizar SIMIO ya que al ser un software nuevo y totalmente orientado a objetos, tiene un mayor potencial de desarrollo para un futuro. Por otro lado, se dispone de un mayor número de licencias de este software, y por tanto, se puede instalar una de ellas en el ordenador personal del realizador de la simulación, dotándole de una mayor flexibilidad a la hora de trabajar.

### 3.5. Introducción SIMIO<sup>4</sup>

El programa de simulación SIMIO permite al usuario construir y ejecutar modelos dinámicos animados en 3D de una amplia gama de sistemas.

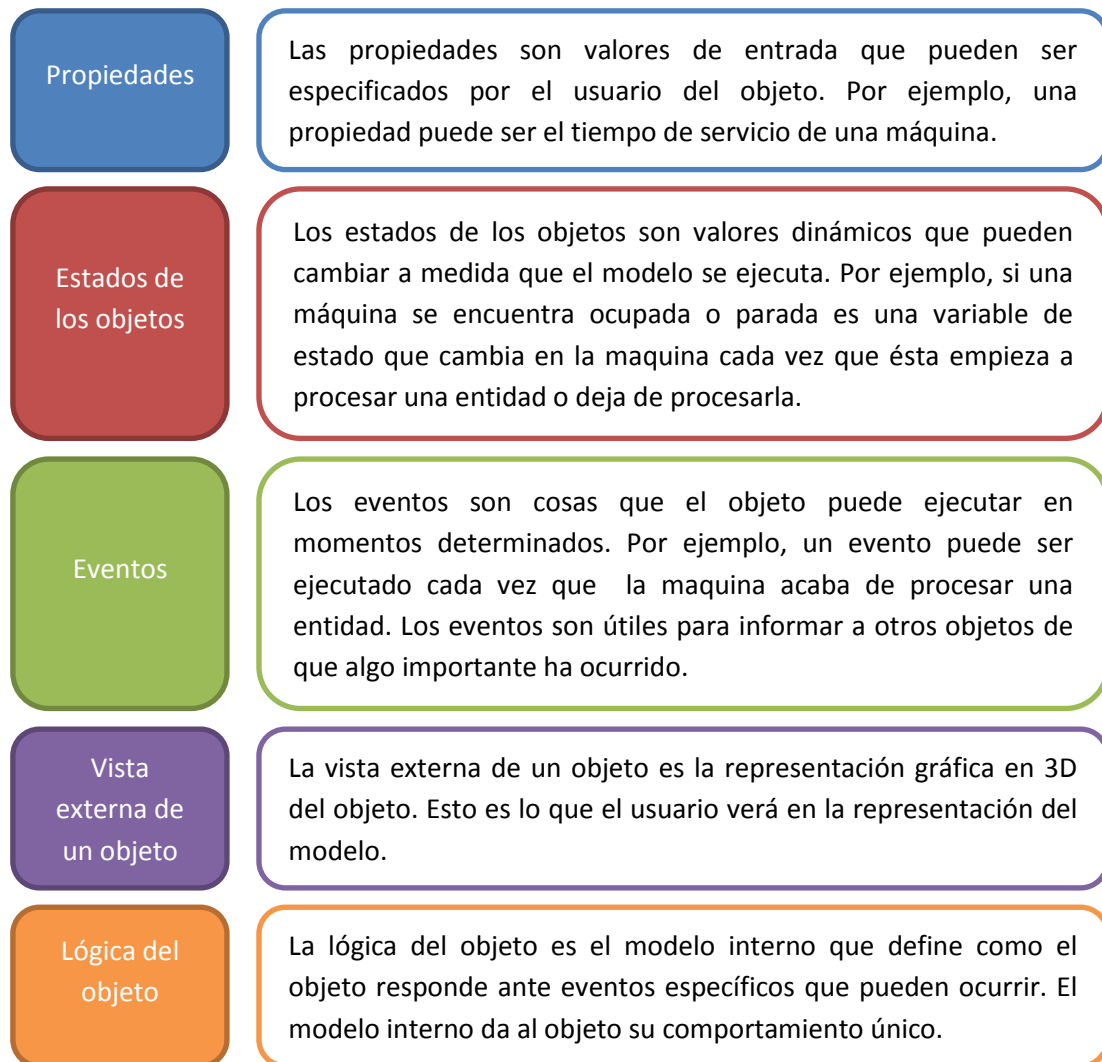
Con SIMIO, los modelos se construyen mediante la combinación de objetos que representan los componentes físicos de los sistemas. Un objeto tiene su propio comportamiento personalizado según la definición de su modelo interno, que responde a los acontecimientos en el sistema. SIMIO ofrece varias opciones a la hora de construir los modelos:

- Se puede utilizar los objetos prestados en la “Standard Object Library” (la biblioteca de objetos estándar).
- Se pueden crear librerías de objetos que están personalizados para áreas específicas de aplicación.
- Se puede modificar y ampliar el comportamiento de los objetos de la “Standard Object Library” (biblioteca de objetos estándar) utilizando la lógica del proceso.

---

<sup>4</sup> Basado en el libro Introduction to Simulation and Simio (Pedgen & Sturrock, 2013)

Un objeto está definido por sus propiedades, estados, eventos, vista exterior y lógica. Conocer estos conceptos es básico para poder construir y usar los objetos en SIMIO, por ello se explican los conceptos en la ilustración 12.



**Ilustración 12: Definición de las Partes de un Objeto (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))**

En el programa SIMIO los modelos se definen dentro de proyectos. Así pues, un proyecto contiene cualquier número de modelos y sus experimentos asociados. Un proyecto suele contener un modelo principal y una entidad modelo, aunque se pueden añadir modelos adicionales al proyecto.

La entidad modelo se utiliza para definir el comportamiento de las entidades que se mueven a través del sistema. La entidad modelo por defecto no tiene ninguna conducta explícita, sin embargo, se puede modificar para que éste realice acciones específicas en respuesta a eventos. También se puede tener varios tipos de entidades modelo en un mismo proyecto y asignarle a cada una de ellas su propio comportamiento.

### 3.5.1. Interfaz SIMIO

La vista inicial del programa de simulación SIMIO se muestra a continuación en la ilustración 13.

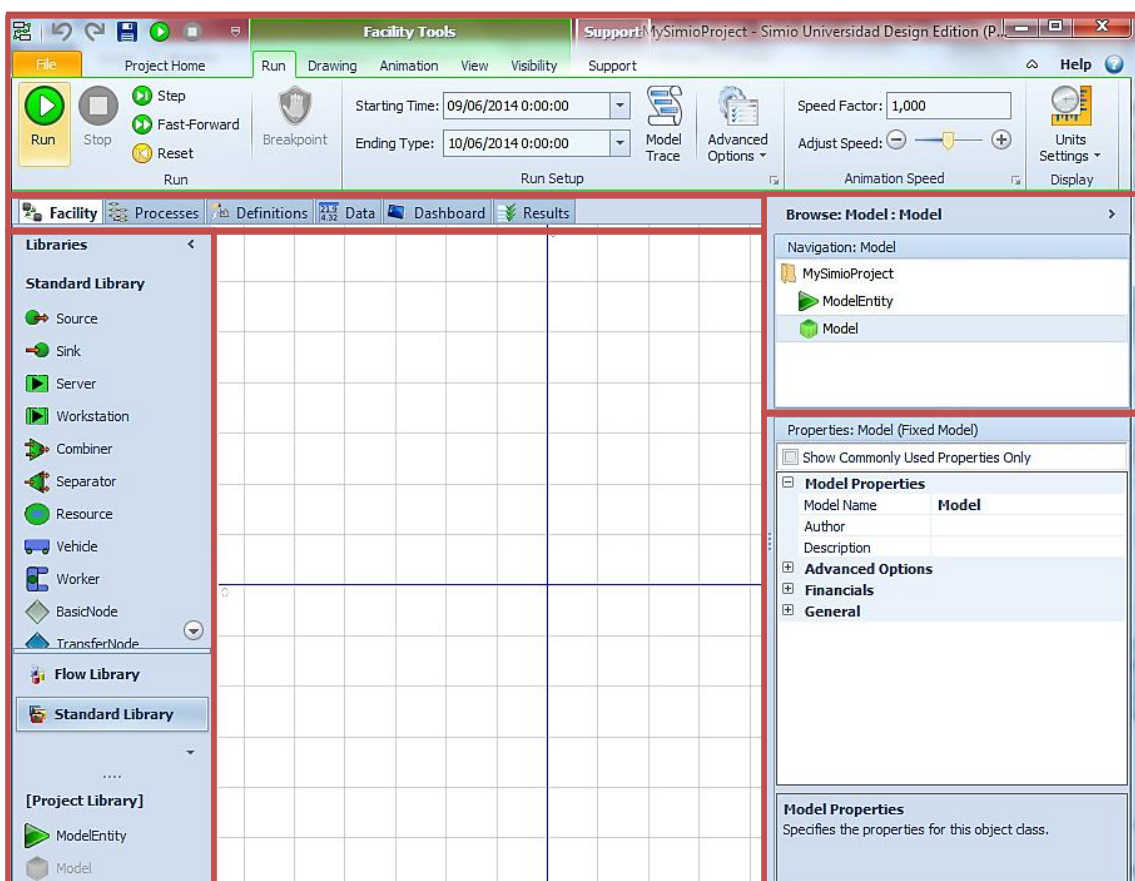
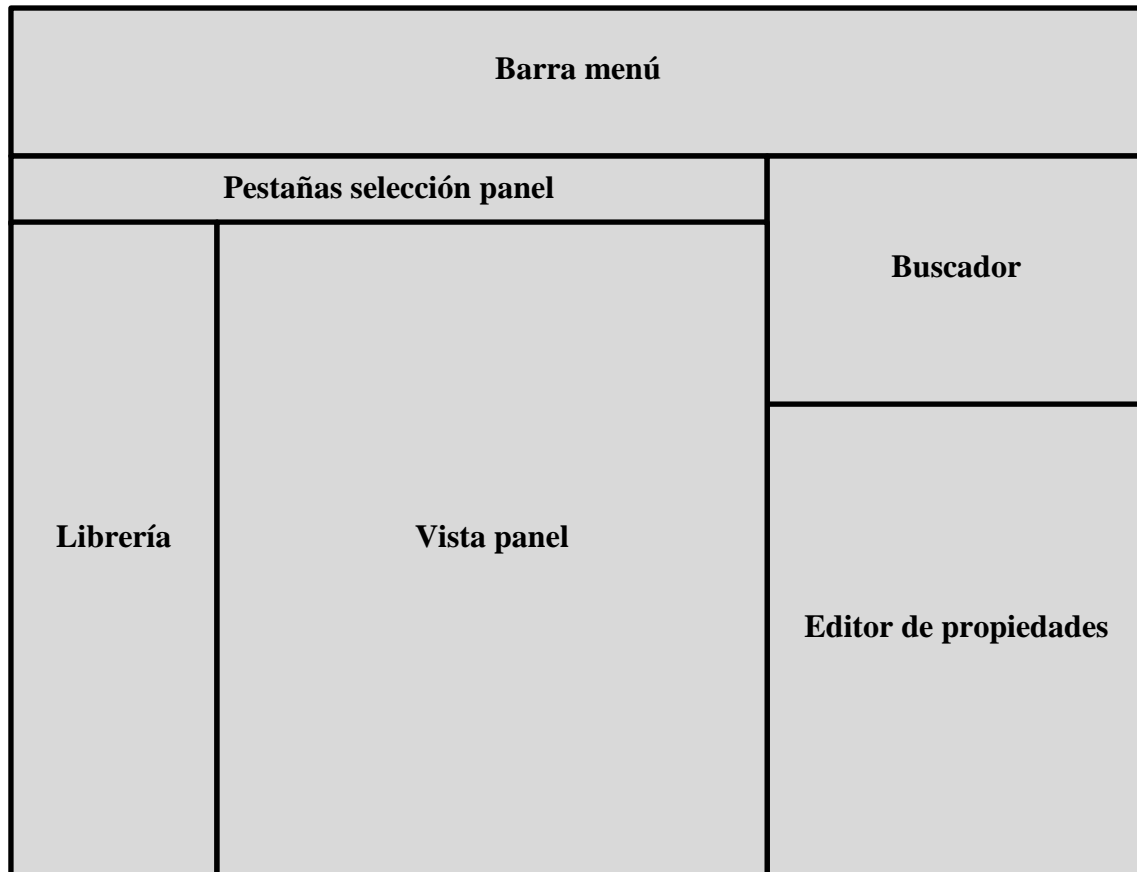


Ilustración 13: Interfaz SIMIO (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

Las principales áreas a distinguir se muestran en la ilustración 14. Estas áreas son: en la parte superior la barra de menú, tras esto aparecen las pestañas de selección de los diferentes paneles, en la parte izquierda aparece la librería de SIMIO, en el área principal se ve el panel escogido con las pestañas y, por último, en la parte derecha se ven el buscador y el editor de propiedades.



**Ilustración 14: Estructura Interfaz SIMIO (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

En la barra menú se muestran las principales funciones disponibles para construir, animar y ejecutar los modelos. De esta forma se puede acceder a ellas de una forma rápida.



El buscador se utiliza para cambiar entre la vista del proyecto y sus modelos asociados y experimentos. El editor de propiedades en cambio, se utiliza para, como su nombre indica, cambiar las propiedades de los elementos u objetos. Esta ventana se explicará más adelante con mayor profundidad.

En cuanto al selector de paneles y la vista del panel en sí, existen seis posibles paneles de visualización entre los cuales escoger mediante las pestañas del selector y que son útiles para realizar el modelo. Los paneles de visualización disponibles en SIMIO son los que aparecen representados en la ilustración 15.

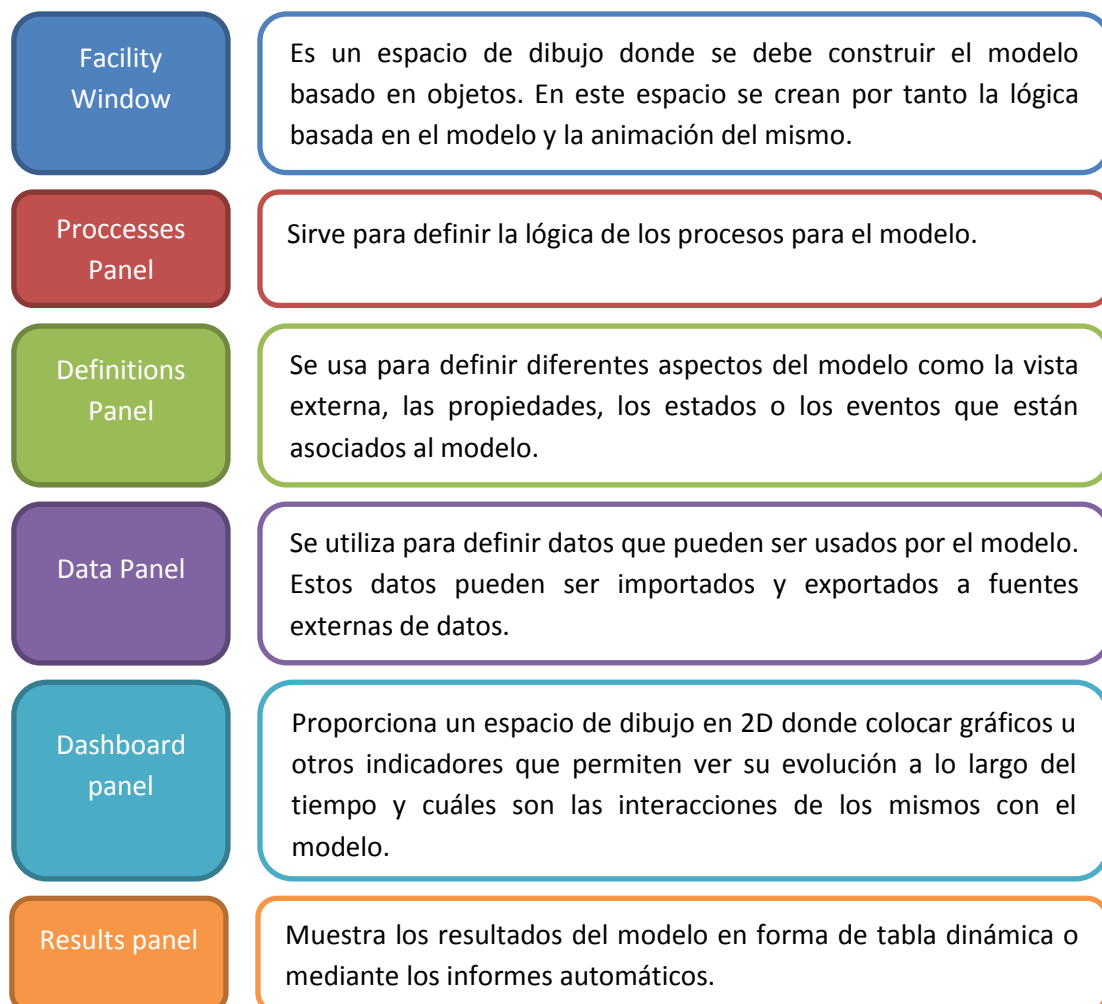


Ilustración 15: Paneles Visualización SIMIO (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Por último, en la zona de librería se muestran las librerías que están abiertas y disponibles. La librería incluye la librería estándar (objetos definidos por SIMIO que sirven para modelar un amplio rango de sistemas), la librería de flujos (objetos que sirven para modelar el flujo del sistema), la librería del proyecto (elementos correspondientes a los modelos actuales del proyecto) y se pueden cargar además otras librerías.

### 3.5.2. Librería estándar (Standard Library)

La librería estándar del programa de simulación SIMIO contiene quince objetos que pueden emplearse como base en la construcción de la mayoría de los modelos. Una breve descripción de cada uno de estos objetos aparece en la ilustración 16 y en la ilustración 17.

Fuente (Source)	Genera una secuencia de llegada al sistema de entidades de un determinado tipo. Crea por tanto las entidades que entran al sistema.
Sumidero (Sink)	Modela la salida de entidades del sistema una vez éstas han completado el proceso del modelo.
Servidor (Server)	Se utiliza para modelar un recurso restringido tal como una maquina o una operación de servicio que tiene una localización fija en el sistema.
Puesto de trabajo (Workstation)	Sirve para modelar una estación de trabajo compleja en la que se dispone de etapas de setup, procesado, teardown y además requieren recursos secundarios u otros materiales.
Recurso (Resource)	Objeto genérico que puede ser detenido y liberado por otros objetos.

Ilustración 16: Objetos Librería Estándar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

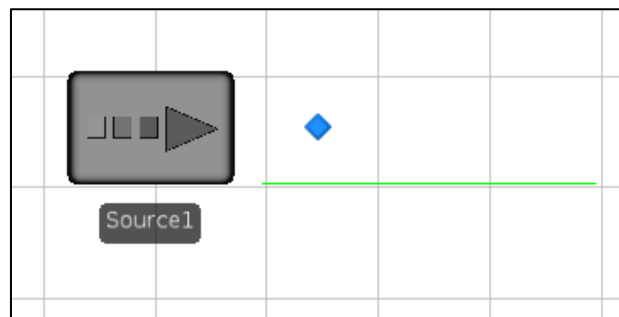
Trabajador (Worker)	Objeto transportador que puede ser detenido y liberado por otros objetos. Además puede recoger y llevar entidades mientras se mueve libremente de una localización a otro.
Combinador (Combiner)	Forma lotes de entidades básicas y las combina en la llamada una Entidad Padre. Una Entidad Padre es por ejemplo, un pallet.
Separador (Separator)	Sirve para separar una Entidad Padre en las entidades básicas y también para hacer copias de una entidad.
Vehículo (Vehicle)	Transporta entidades libremente de un lugar a otro.
Nodo básico (BasicNode)	Es un nodo simple que se utiliza para asociar los nodos de entrada de los diferentes objetos de la librería estándar.
Nodo de Transferencia (TransferNode)	Es un nodo más complejo que se utiliza para asociar los nodos de salida de los diferentes objetos de la librería estándar.
Conector (Connector)	Enlace utilizado para definir un trayecto directo entre dos nodos con un tiempo de trayecto igual a cero.
Camino (Path)	Enlace utilizado para modelar un camino por el cual cada entidad viaja a su propia velocidad.
Camino temporal (TimePath)	Enlace utilizado para modelar un camino por el cual cada entidad viaja con un tiempo determinado.
Cinta transportadora (Conveyor)	Enlace que representa una máquina que se encargue del transporte de las entidades. La velocidad de la cinta transportadora controla la velocidad de las entidades que están en él.
Entidad modelo (ModelEntity)	Representa el elemento que se crea de forma dinámica, fluye a través del sistema y luego deja el sistema.

Ilustración 17: Objetos Librería Estándar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO) (continuación de la ilustración 16)

Se detalla a continuación el uso de aquellos objetos que se van a emplear en este proyecto, haciendo una breve explicación de sus propiedades y características. También se muestran a continuación cuáles son las representaciones gráficas de cada uno de estos objetos en el programa de simulación SIMIO.

### 3.5.2.1. Fuente (Source)

En primer lugar se utilizará el objeto Fuente (Source) que tiene la siguiente representación gráfica en el programa SIMIO (ilustración 18):



**Ilustración 18: Representación Gráfica Source (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

El objeto Fuente se compone del objeto principal Fuente más el nodo de salida asociado a la fuente llamado Output (del tipo TransferNode). Se puede seleccionar y editar independientemente la fuente y su nodo de salida asociado. Además, el objeto principal Fuente, tiene una estación de almacenaje a la salida (llamado OutputBuffer) que contiene las entidades que están esperando para salir de la Fuente a través del nodo de salida asociado. La relación entre la estación de almacenaje y el nodo de salida se muestra a continuación en la ilustración 19:

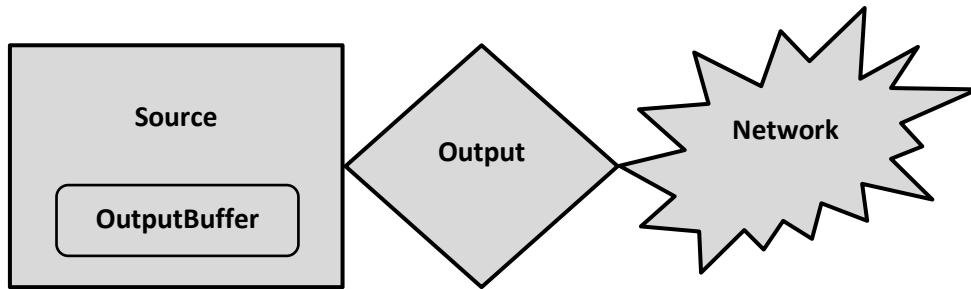


Ilustración 19: Composición Source (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))

Las propiedades del objeto Source con mayor importancia para el campo de aplicación de este proyecto son las que se muestran en la ilustración 20:

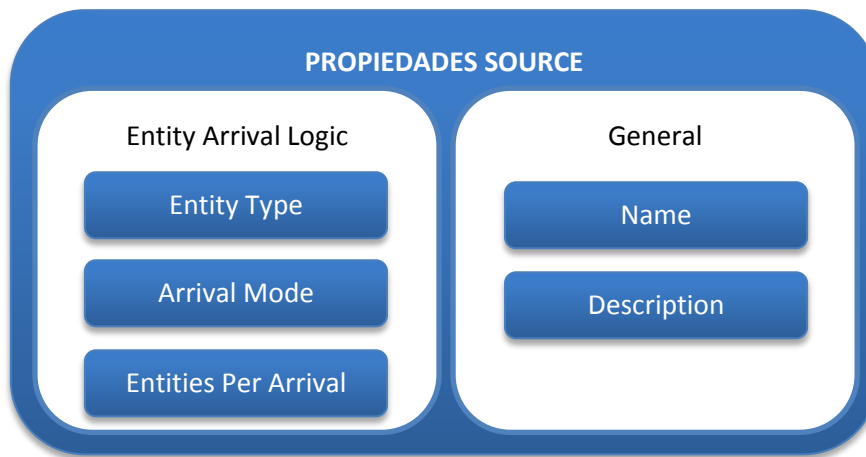


Ilustración 20: Propiedades del Objeto Source (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Las propiedades que se incluyen en el “Entity Arrival Logic” son las que definen el comportamiento de la fuente (Source).

En primer lugar se ha de definir el “Entity Type” que es el tipo de entidad que se creará en dicha fuente durante la simulación.

En segundo lugar, se define en el campo de “Entities per Arrival” el número de entidades que llegarán en cada ocasión a dicha fuente.

Y por último, se tiene que definir el “Arrival Mode” que es el modo que se usa durante la simulación para generar a corriente de llegada de entidades. Existen cuatro modos de llegada predeterminados en el programa de simulación SIMIO los cuales se muestran en la ilustración 21.

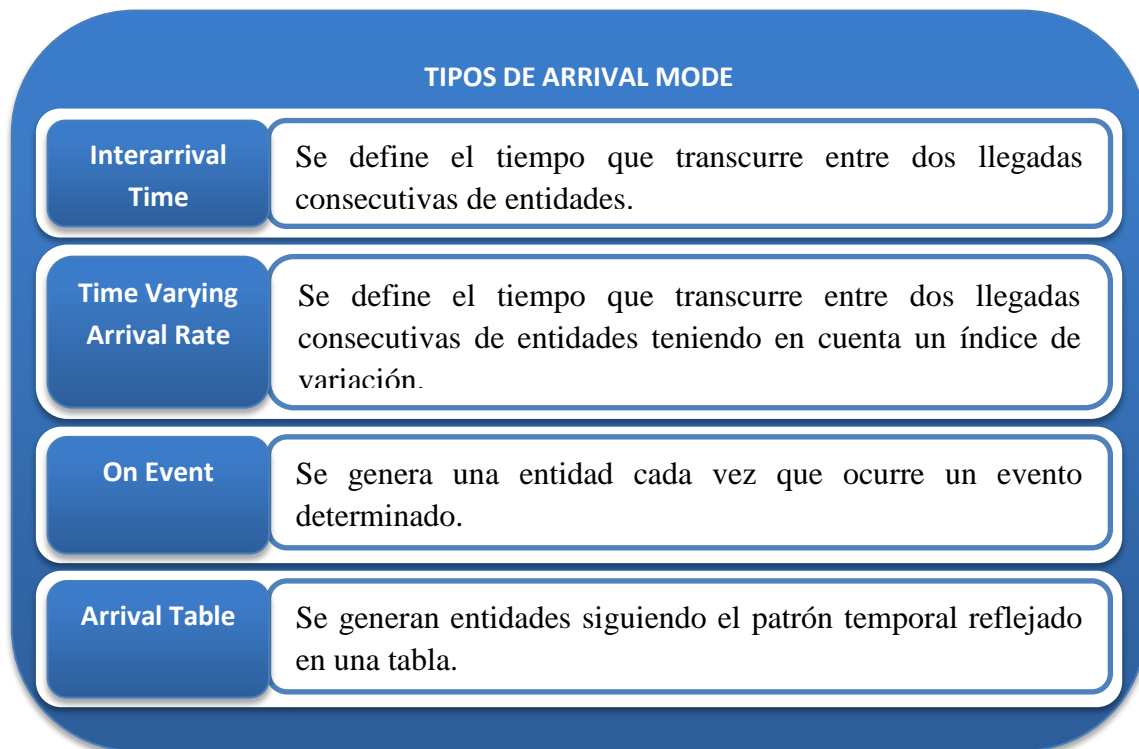
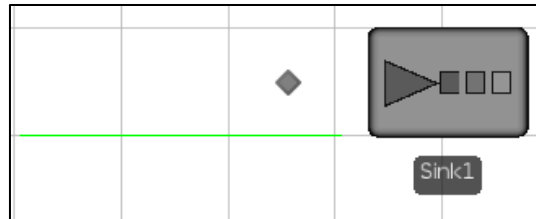


Ilustración 21: Tipos de "Arrival Mode" (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

En cuanto a las propiedades que se incluyen en el apartado “General” se refieren al nombre que se le da a la fuente y a la descripción del uso del objeto Fuente en el modelo.

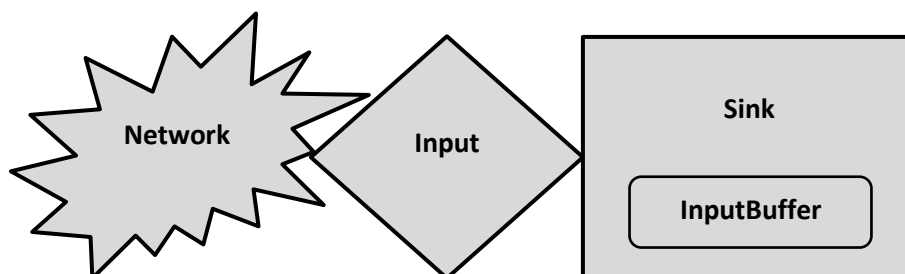
### 3.5.2.2. Sumidero (Sink)

En segundo lugar, se utilizará como objeto imprescindible para este proyecto el sumidero (Sink) que destruye las entidades que llegan a este objeto y los elimina del sistema. Su representación gráfica en el programa SIMIO es la que aparece en la ilustración 22.



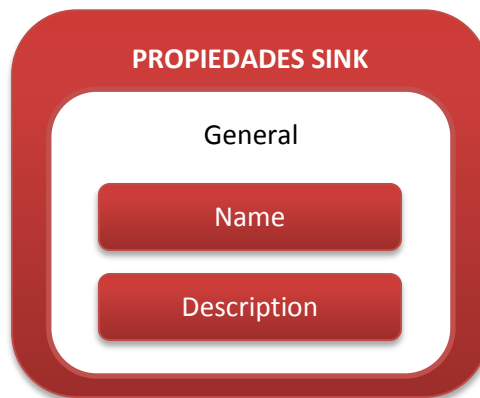
**Ilustración 22: Representación Gráfica Sink (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

El Sumidero está compuesto por el objeto principal Sumidero más el nodo de entrada asociado llamado Input (del tipo BasicNode). Un Sumidero solo puede procesar una entidad simultáneamente. Además, el objeto principal Sumidero, tiene una estación de almacenaje a la entrada (llamado InputBuffer) que contiene las entidades que están esperando para entrar en el Sumidero a través del nodo de entrada asociado. . La relación entre la estación de almacenaje de entrada y el nodo de entrada se muestra a continuación en la ilustración 23.



**Ilustración 23: Composición Sink (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))**

Las propiedades del Sumidero con mayor importancia para el campo de aplicación de este proyecto son las que se muestran en la ilustración 24.

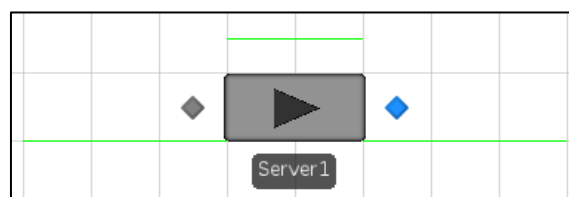


**Ilustración 24: Propiedades del Objeto Sink (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

Dichas propiedades del objeto Sink sirven para darle un nombre al objeto Sumidero y para describir el uso que el objeto va a tener en el modelo.

### 3.5.2.3. Servidor (Server)

En tercer lugar, se utilizará el Servidor (Server) cuya representación gráfica en el programa de simulación SIMIO es la que aparece en la ilustración 25.



**Ilustración 25: Representación Gráfica Server (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

El Servidor se compone de un nodo de entrada (BasicNode), un nodo de salida (TransferNode) y del Servidor en sí que se compone a su vez de tres estaciones: la estación de almacenaje de entrada (InputBuffer), la parte de procesamiento y la estación de almacenaje de salida (OutputBuffer).



Una entidad que llega entra desde la red a través del nodo de entrada a la estación de almacenaje de entrada del servidor, procede a través del procesamiento y luego espera en la zona de almacenaje de salida del servidor para desplazarse por el nodo de salida hacia la red. La relación entre estas partes se puede observar a continuación en la ilustración 26.

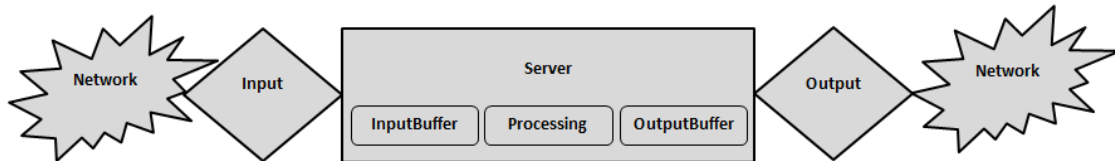


Ilustración 26: Composición Server (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))

Las propiedades del Servidor con mayor importancia para el campo de aplicación de este proyecto son las que aparecen en la ilustración 27.

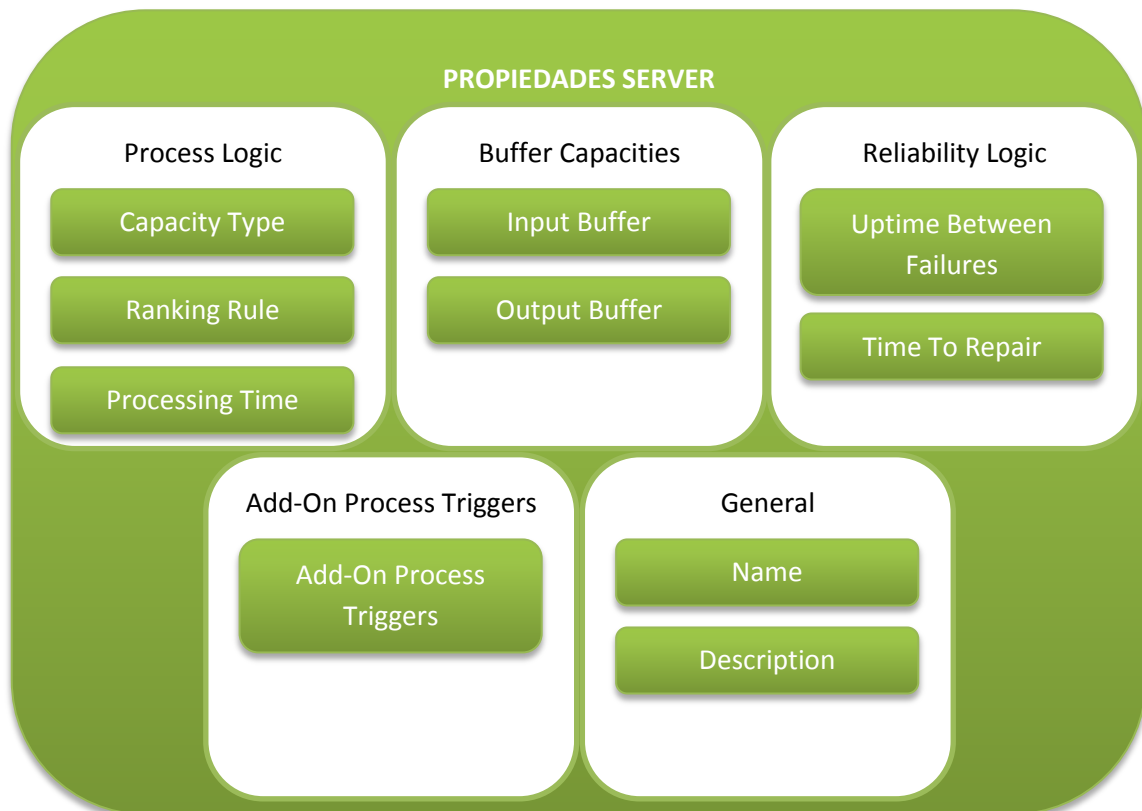


Ilustración 27: Propiedades del Objeto Server (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Las propiedades del objeto Servidor (Server) que se utilizan en este proyecto se dividen en cinco apartados: la lógica del proceso del objeto (Process Logic), la capacidad de los almacenes del servidor (Buffer Capacities), la lógica de la fiabilidad del objeto (Reliability Logic), los desencadenantes de los procesos que se producen en el proceso (Add-On Process Triggers) y la información general del objeto (General).

Se puede encontrar el detalle de cada uno de estos apartados en el Anexo I: Propiedades del Servidor.

#### 3.5.2.4. Conector (Connector)

En cuarto lugar, se utilizarán también el objeto Conector (Connector). Su representación gráfica en el programa de simulación SIMIO es la que aparece en la ilustración 28.



Ilustración 28: Representación Gráfica Conector (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Las principales propiedades del Conector (Connector) para este proyecto son las que aparecen en la ilustración 29.

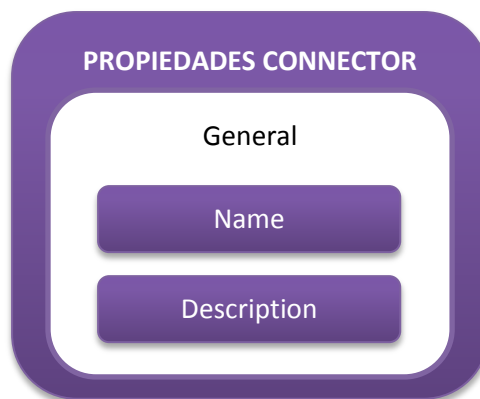
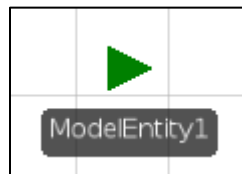


Ilustración 29: Propiedades del Objeto Conector (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Dichas propiedades del objeto Connector sirven para darle un nombre al objeto Sumidero y para describir el uso que el objeto va a tener en el modelo.

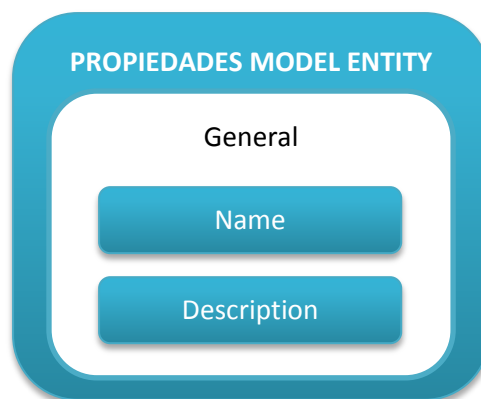
### 3.5.2.5. Entidad modelo (ModelEntity)

Por último, aunque no esté incluido en la librería estándar, se utilizará también la entidad modelo (ModelEntity) que tiene la representación gráfica en el programa de simulación SIMIO que aparece en la ilustración 30.



**Ilustración 30: Representación Gráfica ModelEntity (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

Las propiedades de este objeto con mayor importancia para el campo de aplicación de este proyecto son las que aparecen en la ilustración 31.



**Ilustración 31: Propiedades del Objeto ModelEntity (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

### 3.5.2.6. *Nodo Básico (BasicNode) y de Transferencia (TransferNode)*

También se ha mencionado otros dos objetos que forman parte de la Fuente, el Sumidero, el Servidor e incluso, del Conector. Estos objetos son el BasicNode y el TransferNode que sirven de entrada o salida de un objeto. La diferencia entre ellos es que el BasicNode se suele asociar como entrada de algún objeto (como en el caso del Sumidero y del Servidor) y el TransferNode sirve como nodo de salida de alguno de los objetos (como en el caso de la Fuente y el Servidor).

La representación gráfica de estos dos objetos en el programa de simulación SIMIO es la que aparece en las ilustraciones 32 y 33.

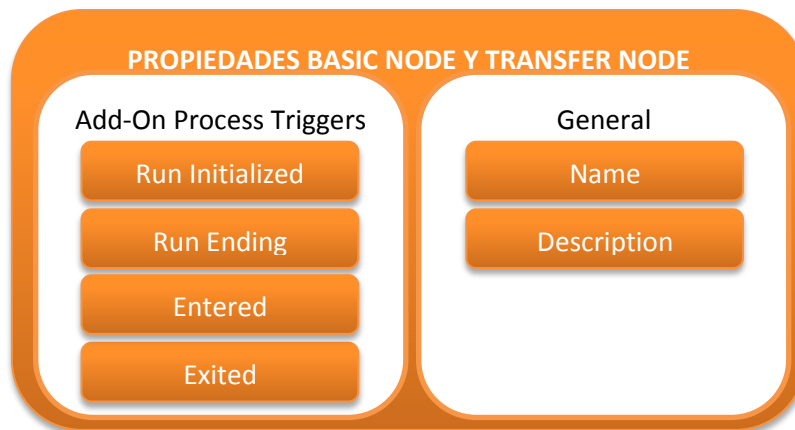


**Ilustración 32: Representación Gráfica BasicNode (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**



**Ilustración 33: Representación Gráfica TransferNode (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

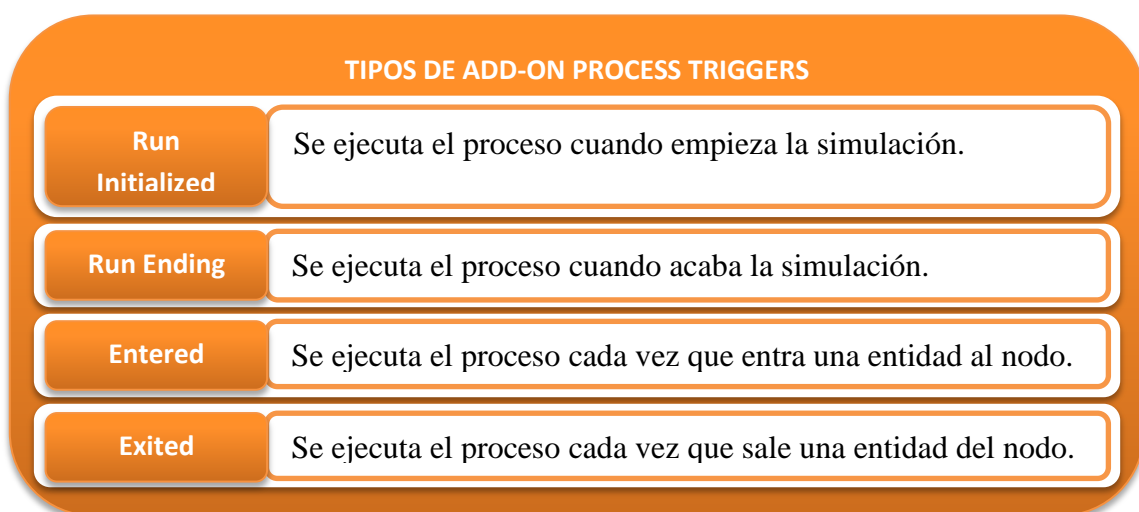
Las principales propiedades que se emplearán en este proyecto para ambos objetos son las que aparecen en la ilustración 34.



**Ilustración 34: Propiedades del Objeto BasicNode y TransferNode (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

Las propiedades de estos dos objetos correspondientes al apartado General sirven para darle un nombre a los objetos BasicNode o TransferNode y para describir el uso que el objeto va a tener en el modelo.

Por otra parte, en el apartado “Add-On Process Triggers” se refleja en que momento de la simulación se ejecutarán los procesos correspondientes al objeto. Las diferentes opciones que se utilizarán en estos objetos son los que aparecen en la ilustración 35.



**Ilustración 35: Tipos de Procesos en BasicNode y TransferNode (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))**

### 3.5.3. Panel de procesos (Processes panel)

Las herramientas basadas en objetos tales como el programa de simulación SIMIO facilitan enormemente la construcción rápida de modelos. Para construir un modelo sólo se tiene que arrastrar los objetos al panel (Facility Window), establecer las propiedades de estos objetos y con esto, el modelo está listo para funcionar. Sin embargo, se puede encontrar un problema como lo es la flexibilidad a la hora de realizar el modelo.

Aunque con los objetos básicos de la librería estándar se pueden utilizar para modelar una amplia gama de sistemas, es difícil tener un conjunto de objetos que funcionen perfectamente en todas las posibles situaciones dependientes de los ámbitos de aplicación.

La biblioteca estándar de SIMIO aborda este problema a través del concepto de los procesos que complementan a estos objetos. Estos procesos son una pequeña pieza de lógica que se puede insertar en los objetos de la biblioteca estándar para realizar alguna lógica personalizada. Esta lógica personalizada se puede utilizar para aprovechar los recursos, hacer asignaciones a las variables, evaluar alternativas, etc.

Los procesos se crean en la ventana de panel de procesos como si fueran diagramas de flujo, por lo tanto, no se tiene la necesidad de emplear la programación.

Un proceso es una secuencia de pasos que se ejecutan por un contador y que pueden cambiar el estado de uno o más objetos. Como el contador varía a lo largo del proceso, este ejecuta las diferentes acciones que estén definidas en cada uno de los pasos.

### *3.5.3.1. Tipos de procesos*

Hay tres tipos básicos de procesos en el programa SIMIO. Todos ellos se construyen y editan de la misma forma. Solo difieren en el mecanismo que desencadena su ejecución.

- Un proceso estándar es un proceso que se define y ejecuta por el programa SIMIO. Si se agrega un proceso estándar en el modelo, no es necesario especificar un evento que lo ejecute ya que el propio programa lo ejecutará en el tiempo apropiado para ello.
- Un proceso complemento es un proceso que se incorpora en el modelo de un objeto para permitir que el usuario de ese objeto pueda insertar su propia lógica dentro del modelo en unos puntos seleccionados. Se puede consultar en qué punto se pueden usar estos objetos en cada uno de los objetos en el Anexo II: Tipos de Procesos Complementos.
- Un proceso desencadenado por un evento es un proceso que comienza gracias a un evento que se ejecuta con el modelo.

Los procesos que se emplearán en este proyecto serán procesos complemento que se aplicarán en diferentes puntos dependiendo del proceso y de cuando se quiere que se realice su ejecución.

### *3.5.3.2. Pasos de procesos*

La clave para modelar los procesos es entender la funcionalidad de los pasos disponibles en el programa SIMIO y como combinarlos en los diagramas de procesos para poder modelar diferentes aspectos de un sistema.

A continuación, en la ilustración 36 se nombran y explican aquellos pasos dados por SIMIO y que se emplearán en este proyecto.

Assign	Asigna el valor de una expresión a una variable de estado.
Decide	Sigue el proceso por uno de los dos posibles caminos tras basar la decisión en una expresión que se puede interpretar como una condición lógica o basada en probabilidades.
Delay	Retrasa el proceso por un tiempo determinado.
Execute	Ejecuta otro proceso. Este paso puede hacer esperar el proceso inicial mientras se ejecuta el otro o continuar con los dos procesos en paralelo.
SetNode	Establece el destino del objeto asociado al paso.
Fire	Ejecuta un evento determinado de un objeto.
Wait	Espera a que suceda un evento para ejecutarse.

Ilustración 36: Pasos de Procesos (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

### 3.5.4. Panel de definición (Definitions panel)

En el panel de definición se puede encontrar a su vez varias pestañas y en cada una de ellas se abre a su vez una nueva vista en la parte central de la ventana. Las pestañas con las que cuenta el programa SIMIO son las siguientes: elementos, propiedades, estados, eventos, funciones, listas, tokens y vista exterior.

En este proyecto tan solo será necesario emplear las pestañas de propiedades, estados, eventos y funciones para poder simular correctamente el sistema. Estas pestañas se definen con mayor profundidad en la ilustración 37.



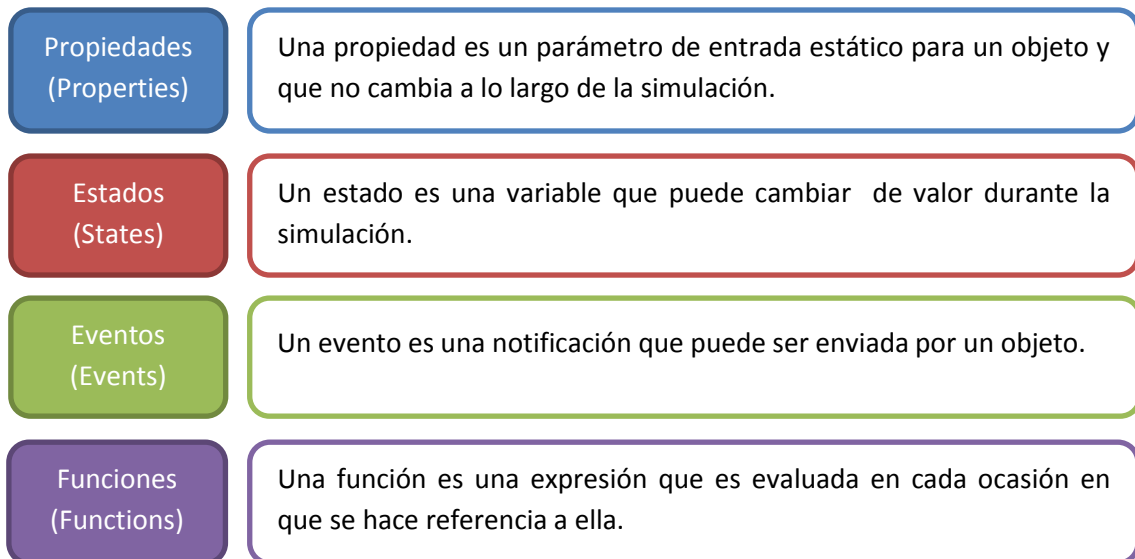


Ilustración 37: Tipos de Definición (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

### 3.5.5. Panel de datos (Data panel)

Los modelos de simulación normalmente poseen datos que se utilizan para hacer que el modelo funcione. En algunos casos estos datos son introducidos directamente en cada uno de los objetos pero en otros casos donde se tiene una gran cantidad de datos y además, estos datos varían constantemente, es conveniente definir estos datos en tablas de datos y tener referencias a las mismas en cada uno de los objetos del modelo.

Una tabla de datos en SIMIO es por tanto un almacén de datos en los que se pueden incluir tanto datos formados por números reales como por valores de expresiones, por cadenas de texto, etc.

Se pueden introducir tantas tablas en el programa como sean necesarias y cada una de ellas puede tener a su vez las columnas y filas necesarias para realizar un correcto modelo que refleje la realidad del sistema.

Los diferentes tipos de datos que se pueden introducir en estas tablas aparecen reflejados en el Anexo III: Tipos de Datos.

Cabe destacar que las columnas de datos que especifican valores numéricos tienen a su vez una propiedad llamada “Unit Type” que debe ser definida y se refiere al tipo de unidad (distancia, tiempo, velocidad, etc.) para poder posteriormente seleccionar las unidades a las que se refiere (metros, metros por segundo, horas, etc.)

## Bibliografía

- Aguarón, J., Calvete, H., Lasala, P., Moreno, J. M., & Plo, F. (1993). Simulación. En J. Aguarón, H. Calvete, P. Lasala, J. M. Moreno, & F. Plo, *Simulación* (págs. 1-34). Zaragoza: Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza.
- Banks, J. (1994). Software for Simulation. *Winter Simulation Conference Proceedings*, (págs. 26 - 33 ). New York.
- Berger Vidal, E., Gambini López, I., & Velásquez Pino, C. (Noviembre de 2000). *Simulación de Sistemas*. Recuperado el 02 de Junio de 2014, de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/Matematicas/Notas\\_instituto/Simulacion\\_sistemas.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/Matematicas/Notas_instituto/Simulacion_sistemas.pdf)
- Gartner. (20 de Octubre de 2009). Recuperado el 27 de Marzo de 2014, de <http://www.gartner.com/newsroom/id/1210613>
- Naylor, T. H., Balintfy, J. L., Burdick, D. S., & Chu, K. (1966). *Computer Simulation Techniques*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pedgen, C., & Sturrock, D. T. (2013). *Introduction to Simulation and Simio*. Sewickley.
- Rocca, H. (s.f.). *Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires*. Recuperado el 01 de Junio de 2014, de <http://materias.fi.uba.ar/7526/docs/teoria.pdf>



#### **4. Definición del problema**

Como ya se ha explicado en el punto 1 (Objeto, justificación y motivación), el objetivo de este proyecto es realizar un modelo de simulación que represente la planta de producción de la empresa Ford que se encuentra situada en Almussafes (Valencia).

La necesidad de realizar un modelo de simulación de dicha planta surge por un cambio que se va a realizar en la empresa próximamente. La compañía Ford España ha decidido fabricar en la planta de Almussafes cinco modelos diferentes de vehículos, mientras que hasta ahora se han fabricado tan solo tres modelos diferentes de vehículos simultáneamente.

El modelo de simulación servirá para representar el funcionamiento de la planta de producción y con ello poder conocer su comportamiento. Este modelo también servirá para estudiar diferentes casos a los que se puede enfrentar la empresa una vez se implemente el cambio de número de modelos a fabricar.

Con las conclusiones que se saquen de esta representación de la planta de producción así como de los experimentos que representen varios posibles escenarios futuros, se tratará de definir unas restricciones bajo las cuales se sepa con certeza que la planta de producción va a poder cumplir con sus objetivos.



## 5. Construcción del modelo de simulación

### 5.1. Obtención de datos

Se poseen los datos de 10.000 vehículos fabricados en la planta de Ford de Almussafes. Entre esos datos, aparece el modelo de automóvil perteneciente a cada uno de ellos y se puede obtener cuál va a ser el mix de producción deseado en dicha planta. Si además se tiene en cuenta que la empresa Ford desea fabricar en la planta de Almussafes un total de 2.130 vehículos al día, se puede saber cuántos vehículos de cada modelo es necesario fabricar diariamente.

Realizando los cálculos pertinentes para saber el mix de producción se obtiene los resultados que aparecen en la tabla 2.

<b>Modelo</b>	<b>Cantidad (coches)</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	2115	21,15%	450
Transit	3261	32,61%	695
Mondeo	2842	28,42%	605
S-Max	1208	12,08%	258
Galaxy	574	5,74%	122
<b>Total</b>	<b>10000</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 2: Mix de Producción en la Planta de Almussafes (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados)**

#### 5.1.1. Módulo de Carrocerías

Se tiene tres líneas dentro del módulo de Carrocerías, dos de las cuales trabajan durante tres turnos al día, y otra que trabaja durante dos turnos al día. Además en cada turno se tienen cuatro descansos (siendo la duración de los mismos la siguiente: tres descansos de 10 minutos y un descanso de 15 minutos). Los horarios de trabajo en cada una de las líneas de carrocerías aparecen reflejadas en la tabla 65 del Anexo IV: Horarios Planta de Producción.

Al saber estos datos se pueden conocer cuál es el tiempo total de trabajo en cada una de las líneas de carrocería a lo largo de un día. Obviamente, este tiempo es el tiempo en que los operarios tienen programado trabajar en la planta, pero se tendrán que tener en cuenta también las paradas debidas a averías y reparaciones:

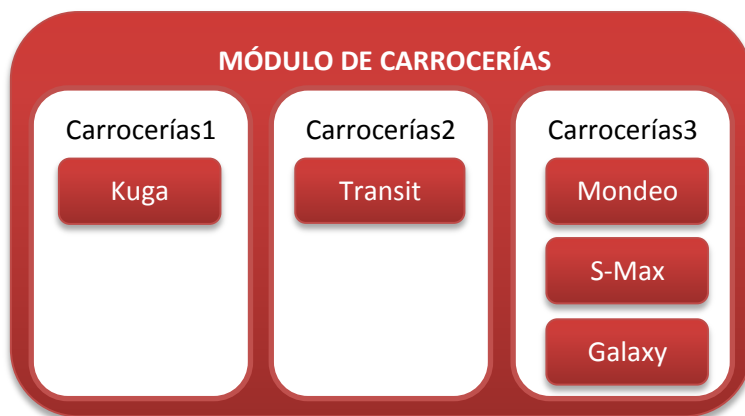
- **MTBF:** Mean Time Between Failures. Es el tiempo medio que se tiene entre cada una de las averías. En las plantas de carrocerías se conoce que el tiempo medio entre fallos es de 10 minutos.
- **MTTR:** Mean Time To Repair. Es el tiempo medio que se tarda en realizar una reparación cada vez que se produce una avería. En las plantas de carrocerías se conoce que el tiempo medio para reparar es de medio minuto.
- **Disponibilidad:** será el porcentaje de tiempo que la máquina de carrocería está disponible para su funcionamiento. Este se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

Con esto se obtiene que la disponibilidad en las máquinas de las plantas de carrocería es igual al 95%.

Por otra parte, se conoce también gracias a la información aportada por la empresa, que no todos los modelos de vehículos se pueden procesar en todas las líneas de carrocerías. La relación entre cada uno de los modelos de vehículos y la línea de carrocerías donde puede ser procesado es la presentada en la ilustración 38.





**Ilustración 38: Relación Modelo de Vehículos y Líneas de Carrocerías (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España)**

Con estos datos se puede obtener cuantos coches se procesarán a lo largo del día en cada una de las plantas de carrocería tal y como muestra la tabla 3.

	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Carrocerías1</b>	Kuga	450	450
<b>Carrocerías2</b>	Transit	695	695
<b>Carrocerías3</b>	Mondeo	605	985
	S-Max	258	
	Galaxy	122	

**Tabla 3: Producción Módulo Carrocerías (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados)**

Como se puede observar en esta tabla, en la línea de Carrocerías1 se llevará a cabo toda la producción de vehículos modelo Kuga (450 vehículos al día), en la línea de Carrocerías2 se procesará el modelo Transit (695 vehículos al día) y por último, en la línea de Carrocerías3 se realizará la fabricación de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy, con un total de 985 vehículos al día.

Una vez se conoce la cantidad de vehículos que se ha de procesar en cada una de las líneas diariamente, se puede realizar el cálculo del tiempo de ciclo que deberá tener cada una de las líneas de carrocerías. Este tiempo de ciclo se calcula gracias a los tiempos de trabajo, la disponibilidad y la producción diaria total de coches.

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{\text{Tiempo programado trabajo} \cdot \text{Disponibilidad}}{\text{Producción diaria total}}$$

Donde para calcular el tiempo programado de trabajo se tienen en cuenta el tiempo de mantenimiento y el tiempo de descansos de los empleados.

$$\text{Tiempo programado trabajo} = T.\text{trabajo} - T.\text{descansos} - T.\text{mantenimiento}$$

Queda reflejada en la tabla 4 cuál será el tiempo de ciclo en cada una de las líneas de carrocerías. Estos datos serán los introducidos posteriormente en el programa de simulación SIMIO para construir el modelo de simulación.

	Carrocerías1	Carrocerías2	Carrocerías3
<b>Tiempo programado trabajo (horas)</b>	14,50	21,75	21,75
<b>Disponibilidad</b>	95%	95%	95%
<b>Tiempo total trabajo (horas)</b>	13,78	20,66	20,66
<b>Tiempo de ciclo (horas/coche)</b>	0,03	0,03	0,02
<b>Tiempo de ciclo (segundos/coche)</b>	110,20	107,03	75,52

Tabla 4: Tiempo de Ciclo en las Líneas de Carrocerías (elaboración propia a partir de cálculos realizados)

### 5.1.2. Body In White (BIW)

Se conoce que el almacén trabaja durante las 24 horas de manera que puede entrar y salir producto del almacén durante todo el día.

### 5.1.3. Módulo de Pinturas

Ambas líneas de pintura trabajan durante tres turnos a lo largo del día. Además en cada turno se tienen cuatro descansos (siendo dos descansos de 10 minutos de duración y los otros dos descansos de 15 minutos de duración).

Además se cuenta con los mismos datos de tiempo medio entre fallos y de tiempo medio de reparación por lo que la disponibilidad de la máquina será la misma. También se cuenta con una hora de mantenimiento en cada una de las líneas de pintura que será entre las 05:00 horas y las 06:00 horas.

El detalle de los horarios de trabajo en cada una de las líneas de pinturas aparece en la tabla 66 del Anexo IV: Horarios Planta de Producción.

Por otra parte, se conoce, como ya se ha reflejado anteriormente, cuál es la producción diaria de cada modelo de coche en la planta de Almussafes y en qué línea de pintura se debe procesar cada uno de los modelos. Con estos datos se puede obtener cuantos coches se procesarán a lo largo del día en cada una de las líneas de pinturas.

Dado que el modelo de coche Kuga se puede pintar en ambas líneas, se debe de calcular que porcentaje se procesará en cada una de las líneas de pintura. Como dato adicional se conoce que un tercio de la producción se realiza en la línea de Pinturas2 y el resto se procesa en la línea de Pinturas1. Esto aparece reflejado en la tabla 5.

	Porcentaje de producción	Producción diaria total (coche/día)
<b>Pinturas1</b>	67%	1420
<b>Pinturas2</b>	33%	710

**Tabla 5: Producción Pinturas (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados)**

Al conocer estos datos, se puede saber ya cuántos coches del modelo Kuga se realizan en cada una de las líneas de pintura. Si además recordamos la relación de los modelos de vehículos con cada una de las líneas de pinturas se puede conocer cuántos vehículos se tendrán que procesar en cada una de las líneas. Estas cantidades se reflejan en la tabla 6.

	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Pinturas1</b>	Kuga	435	1420
	Mondeo	605	
	S-Max	258	
	Galaxy	122	
<b>Pinturas2</b>	Kuga	15	710
	Transit	695	

**Tabla 6: Producción Módulo Pinturas (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados)**

Por último, se calcula el tiempo de ciclo a aplicar en cada una de las líneas de la misma manera que se ha calculado en el apartado de las Carrocerías. Estos datos de tiempo de ciclo que aparecen en la tabla 7 serán los que se introduzcan en el programa de simulación posteriormente.

	Pinturas1	Pinturas2
<b>Tiempo programado trabajo (horas)</b>	20,67	20,67
<b>Disponibilidad</b>	95%	95%
<b>Tiempo total trabajo (horas)</b>	19,63	19,63
<b>Tiempo ciclo (horas/coche)</b>	0,01	0,03
<b>Tiempo ciclo (segundos/coche)</b>	49,77	99,55

**Tabla 7: Tiempo de Ciclo en las Líneas de Pinturas (elaboración propia a partir de cálculos realizados)**

#### 5.1.4. Automatic Storage Retrieval System (ASRS)

Se conoce que el almacén trabaja durante las 24 horas de manera que puede entrar y salir producto del almacén durante todo el día.

#### 5.1.5. Módulo de Trim

Se poseen, como ya se ha mencionado anteriormente, dos líneas de Trim. En ambas líneas de Trim se trabaja durante tres turnos a lo largo del día. Además en cada turno se tienen cuatro descansos (siendo tres descansos de 10 minutos y el otro descanso de 15 minutos). Los horarios de trabajo en cada una de las líneas de Trim aparecen reflejadas en la tabla 67 del Anexo IV: Horarios Planta de Producción.

Además se cuenta con los mismos datos de tiempo medio entre fallos y de tiempo medio de reparación que en las plantas de carrocerías y pinturas por lo que la disponibilidad de las máquinas será la misma.

De la misma manera que en las plantas de pinturas, se puede calcular cuál va a ser la producción diaria de coches en las plantas de Trim. Y por otra parte, se puede calcular cual va a ser la producción diaria de cada uno de los modelos en cada una de las plantas de Trim. Como dato adicional se sabe que el 50% de los coches se procesan en cada una de las líneas de Trim (tabla 8).

	Porcentaje de producción	Producción diaria total (coche/día)
<b>Trim1</b>	50%	1065
<b>Trim2</b>	50%	1065

**Tabla 8: Producción Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España)**

Al conocer estos datos, se puede saber ya cuántos coches del modelo Kuga se realizan en cada una de las líneas de Trim y cuáles son los modelos con sus cantidades que se procesan en cada una de las líneas. Estos datos aparecen en la tabla 9.

	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Trim1</b>	Kuga	80	1065
	Mondeo	605	
	S-Max	258	
	Galaxy	122	
<b>Trim2</b>	Kuga	370	1065
	Transit	695	

**Tabla 9: Producción Módulo Trim (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados)**

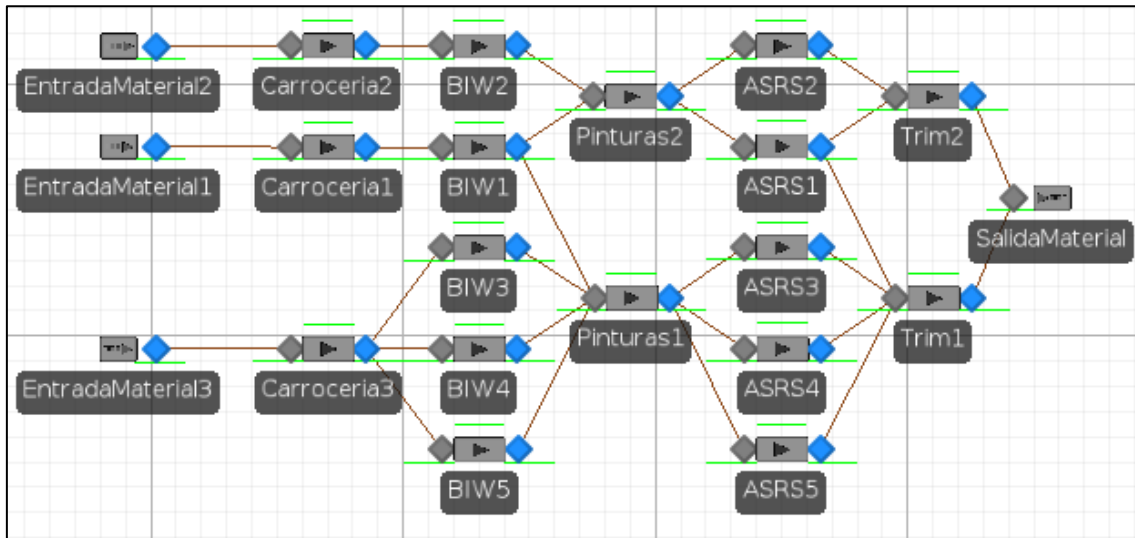
Por último, se calcula el tiempo de ciclo a aplicar en cada una de las líneas de la misma manera que se ha calculado en el apartado de las Carrocerías y Pinturas. Estos datos de tiempo de ciclo que aparecen en la tabla 10 serán los que se introduzcan en el programa de simulación posteriormente.

	Trim1	Trim2
<b>Tiempo programado trabajo (horas)</b>	21,75	21,75
<b>Disponibilidad</b>	95%	95%
<b>Tiempo total trabajo (horas)</b>	20,66	20,66
<b>Tiempo ciclo (horas/coche)</b>	0,02	0,02
<b>Tiempo ciclo (segundos/coche)</b>	69,85	69,85

**Tabla 10: Tiempo de Ciclo en las Líneas de Trim (elaboración propia a partir de cálculos realizados)**

## 5.2. Introducción datos en Simio

Como primer paso se ha de reflejar cuál es el esquema de la planta de la Ford situada en Almussafes en el programa de simulación Simio. Para ello se utilizan los elementos explicados anteriormente en el capítulo 3. El esquema de la planta de Ford es el siguiente:



**Ilustración 39: Esquema Planta Ford Almussafes (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

Una vez introducido el esquema en el programa de simulación se debe de dotar a cada uno de los elementos con todas aquellas características y con todos los datos que se han obtenido anteriormente.

### 5.2.1. Entrada de Material

Se ha dividido el módulo de entrada de material en tres líneas diferentes. Por ellos se enviará el material necesario al módulo de Carrocerías para poder conformar cada uno de los modelos. Como ya se ha visto anteriormente, cada línea de carrocerías procesa unos modelos de vehículos determinados. Cada línea de entrada de material abastecerá a su línea de carrocerías asociada. El mix de producción de cada una de las entradas de material aparece detallado en la tabla 11.

Elemento	Abastece a	Modelos	Producción (coche/día)	Porcentaje
<b>EntradaMaterial1</b>	Carrocerías1	Kuga	450	100%
<b>EntradaMaterial2</b>	Carrocerías2	Transit	695	100%
<b>EntradaMaterial3</b>	Carrocerías3	Mondeo	605	61,42%
		S-Max	258	26,19%
		Galaxy	122	12,39%

**Tabla 11: Mix de Producción en la Entrada de Material (elaboración propia a partir de la información aportada por la empresa Ford España y cálculos realizados)**

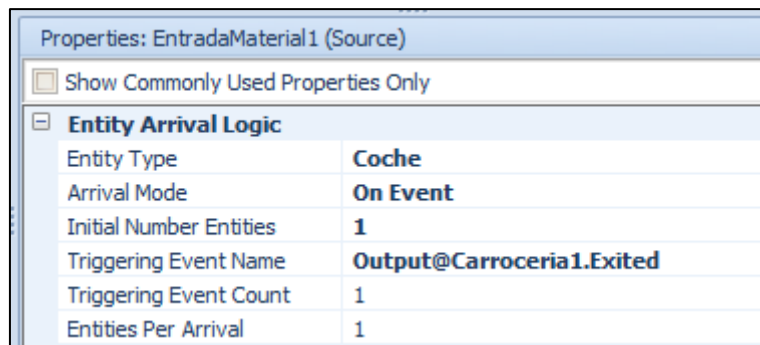
#### *5.2.1.1. Propiedades Entrada de Material*

Las propiedades a actualizar en cada una de las entradas de material son las siguientes:

- **Arrival Mode:** define el modo de llegada de los materiales y por tanto, de qué manera se abastecerá el módulo de Carrocerías. En este proyecto, el abastecimiento se realizará cada vez que suceda un determinado evento.
- **Initial Number Entities:** define el número inicial de entidades (entendiendo cada entidad como un vehículo) que se enviarán al módulo de Carrocerías. En este proyecto, la cantidad inicial será igual a una entidad en las tres líneas.
- **Triggering Event Name:** detalla el nombre del evento con el cual se realizará la entrada de material para cada vehículo. En este proyecto, cada vez que salga un vehículo de la línea de carrocería asociada, llegará una nueva entidad a la línea de entrada de material.



A continuación, en la ilustración 40 se muestra la introducción de las tres anteriores propiedades en programa de simulación SIMIO para la EntradaMaterial1. El caso de la EntradaMaterial2 y EntradaMaterial3 se puede ver en el Anexo VI: Introducción datos EntradaMaterial2 y Anexo VII: Introducción datos EntradaMaterial3 respectivamente.



Properties: EntradaMaterial1 (Source)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] <b>Entity Arrival Logic</b>	
Entity Type	<b>Coche</b>
Arrival Mode	<b>On Event</b>
Initial Number Entities	<b>1</b>
Triggering Event Name	<b>Output@Carroceria1.Exited</b>
Triggering Event Count	<b>1</b>
Entities Per Arrival	<b>1</b>

**Ilustración 40: Propiedades EntradaMaterial1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

#### *5.2.1.2. Proceso AsignarModelo*

Además se debe tener en cuenta que cada modelo de vehículo llega por cada una de las líneas de entrada de materiales. Para ello se asignará a la propiedad ModelEntity.Modelo de cada entidad un valor en función del modelo de vehículo mediante un proceso. Este proceso llamado AsignarModelo se ejecutará cada vez que un vehículo entre en el nodo de salida de la línea de entrada de material.

La relación entre los diferentes valores y modelos de vehículos es la que aparece en la tabla 12.

Modelo	Valor asignado ModelEntity.Modelo
Kuga	1
Transit	2
Mondeo	3
S-Max	4
Galaxy	5

Tabla 12: Relación Modelo de Vehículo y Variable ModelEntity.Modelo (elaboración propia)

El proceso de AsignarModelo para el caso de la línea EntradaMaterial1 se muestra en la ilustración 41. Para el caso de la EntradaMaterial2 se utilizará el mismo proceso que en el caso de la EntradaMaterial1. El proceso para EntradaMaterial2 se muestra con más detalle en el Anexo VI: Introducción datos EntradaMaterial2.

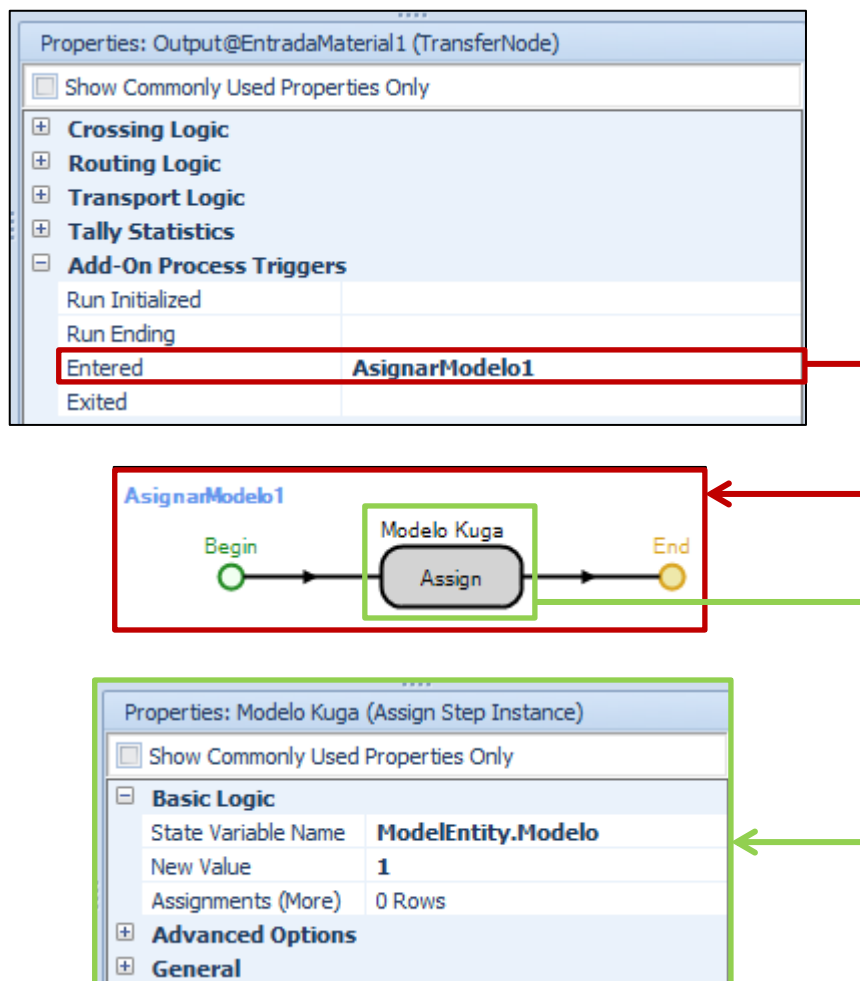


Ilustración 41: Proceso AsignarModelo1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Para el caso de la EntradaMaterial3, el proceso de asignación de los modelos será diferente dado que por esta línea entran tres modelos de vehículos según el mix de producción mostrado en la tabla 13.

<b>Modelo</b>	<b>Valor asignado ModelEntity.Modelo</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
Mondeo	3	61,42%	61,42%
S-Max	4	26,19%	87,61%
Galaxy	5	12,39%	100,00%

**Tabla 13: Mix de Producción EntradaMaterial3 (elaboración propia)**

El nuevo valor de ModelEntity.Modelo se asignará según una distribución discreta. La distribución discreta es una distribución empírica definida por un conjunto de pares de valores y la probabilidad acumulada de que se obtenga cada uno de ellos. Estos pares de valores definen una función acumulativa lineal de distribución de una variable aleatoria discreta. Esta distribución se utiliza típicamente para asignar aleatoriamente valores discretos a un estado.

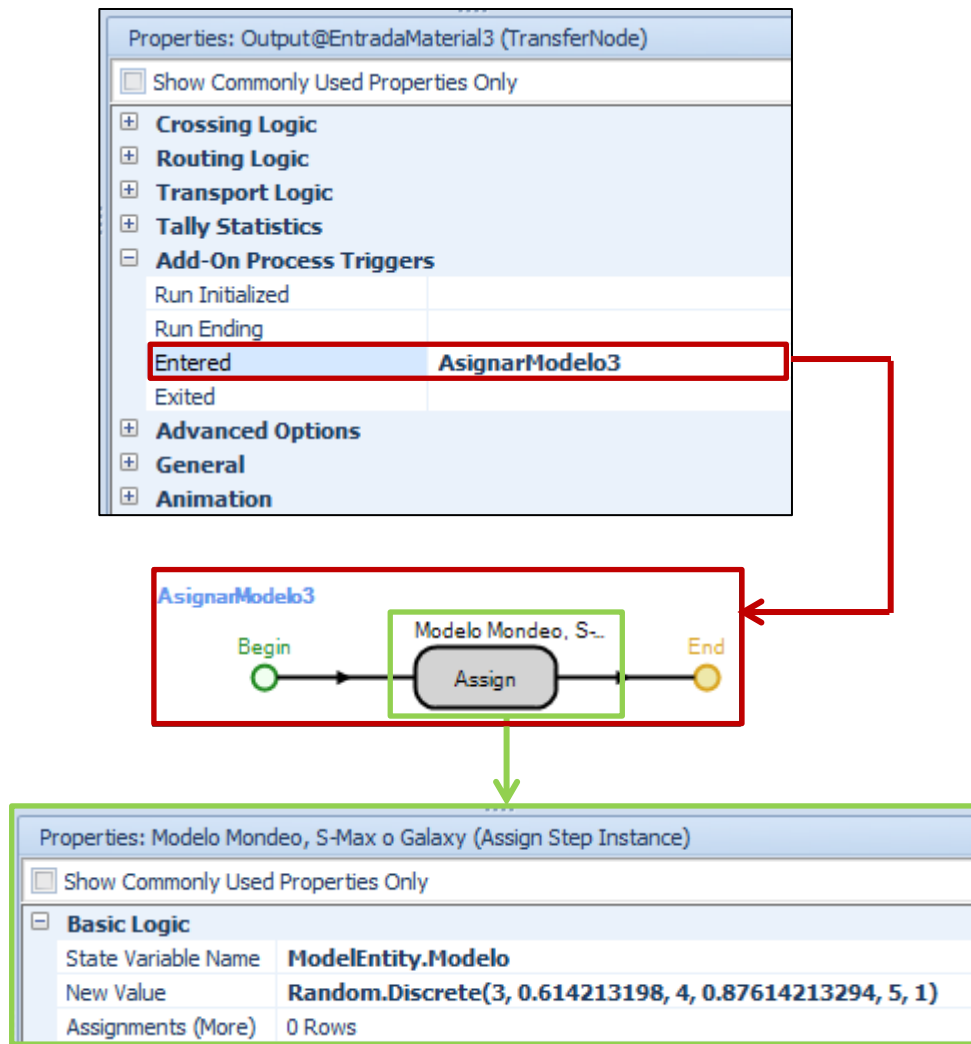


Ilustración 42: Proceso AsignarModelo3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## 5.2.2. Módulo de Carrocerías

### 5.2.2.1. Horarios Carrocerías

En primer lugar, se debe de introducir cuál es el horario en el que se trabaja en cada una de las plantas de carrocería, el cual está reflejado en el apartado 4.1.1. de este proyecto. Para introducir el horario se creará una tabla en el apartado Data >> Schedules >> Day Patterns tal y como se muestra en la ilustración 43.

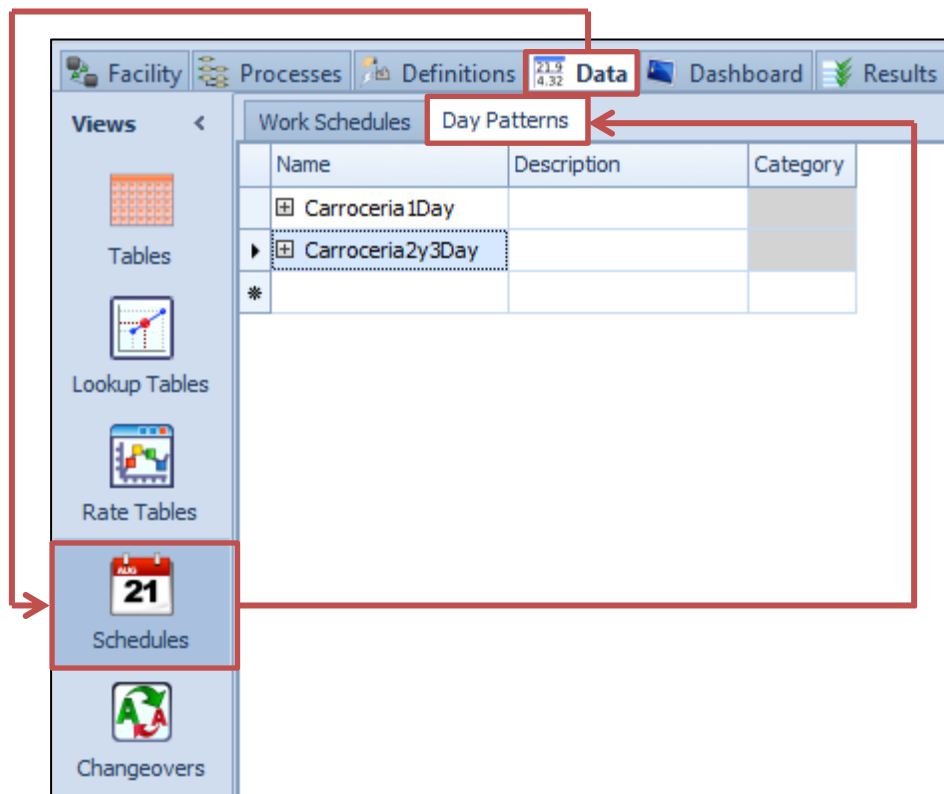
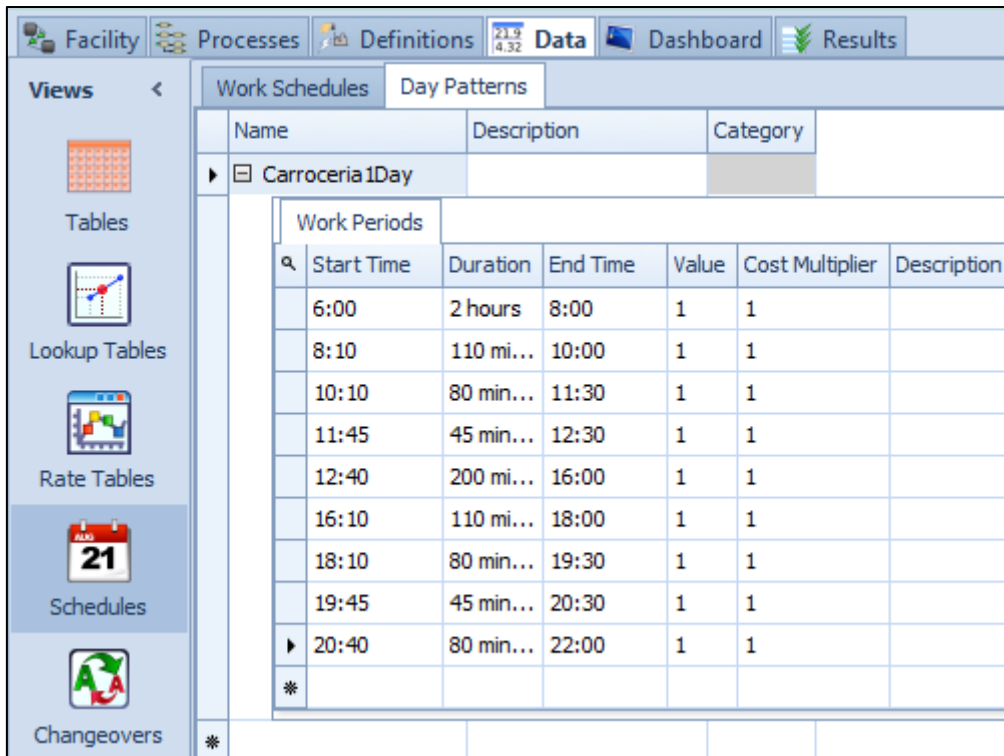


Ilustración 43: Creación Horarios Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Se crea inicialmente un horario diario para la planta Carrocerias1 que solo trabaja durante dos turnos. Llamamos a este horario Carroceria1Day. La introducción de este horario en el programa de simulación se muestra en la ilustración 44.



Name	Description	Category			
Carroceria 1Day					
Work Periods					
Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description
6:00	2 hours	8:00	1	1	
8:10	110 mi...	10:00	1	1	
10:10	80 min...	11:30	1	1	
11:45	45 min...	12:30	1	1	
12:40	200 mi...	16:00	1	1	
16:10	110 mi...	18:00	1	1	
18:10	80 min...	19:30	1	1	
19:45	45 min...	20:30	1	1	
20:40	80 min...	22:00	1	1	
*					

Ilustración 44: Introducción Horario Diario Carrocería1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Se realiza el mismo proceso para el horario diario de Carrocerías2 y Carrocerías3 que se adjunta en el Anexo VIII: Introducción datos Horario Carrocerías2 y Carrocerías3.

Una vez conocidos los horarios diarios de cada una de las plantas de carrocerías se debe establecer el horario semanal. Esto se indica en Data >> Schedules >> WorkSchedules, como se muestra en la ilustración 45.

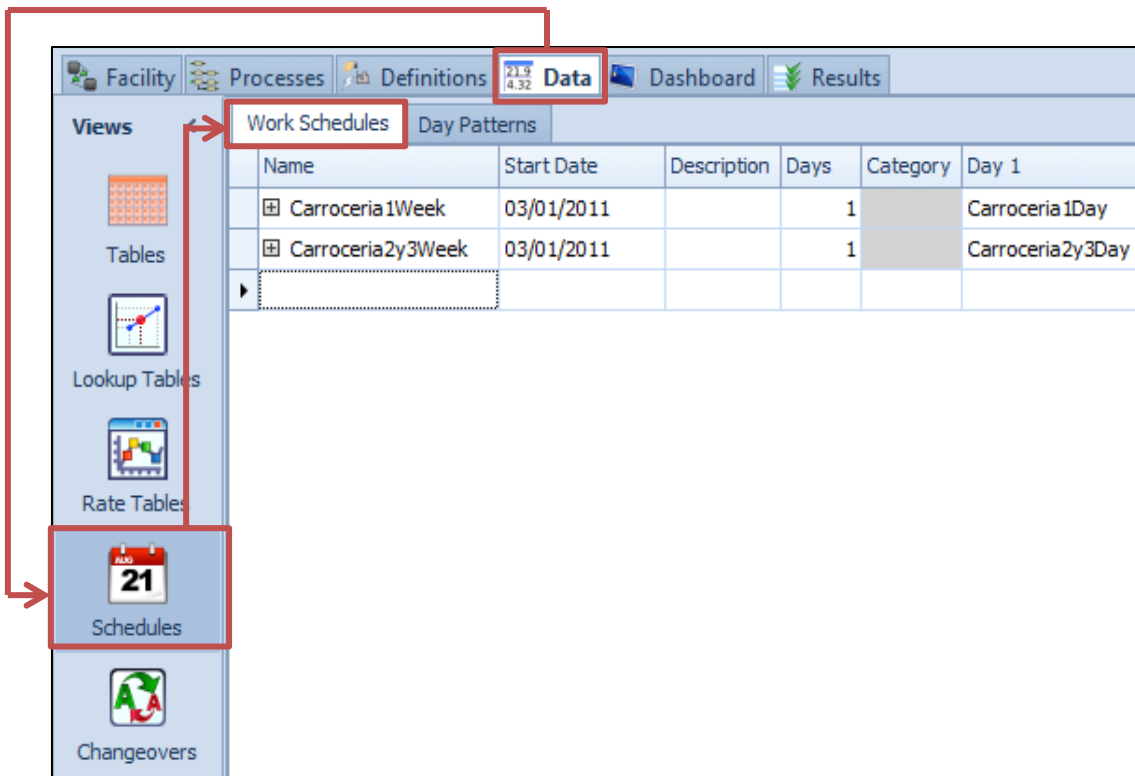


Ilustración 45: Introducción Calendario Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Una vez creados todos los horarios ya se les puede asignar a cada una de las plantas de carrocería su horario correspondiente en su apartado de Work Schedule (ver ilustración 46).

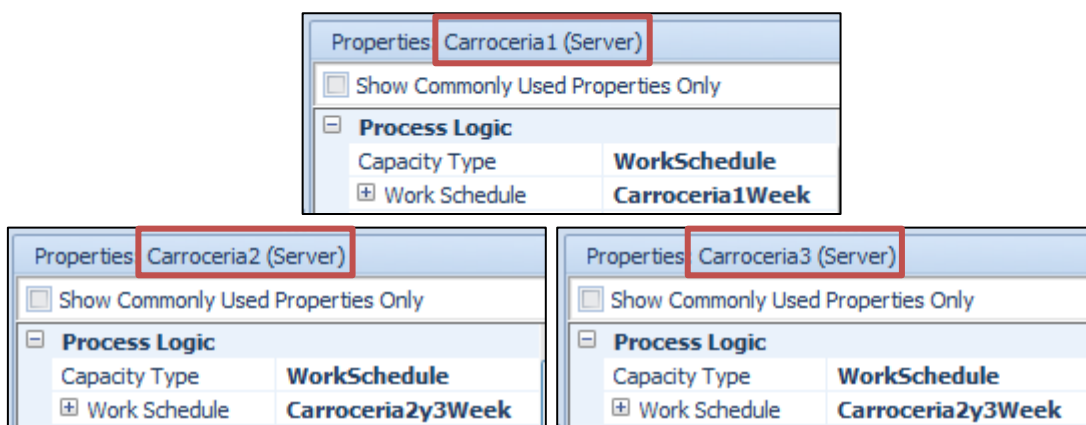


Ilustración 46: Propiedades Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

### 5.2.2.2. Propiedades Carrocerías

Una vez finalizada la introducción de los datos relativos a los horarios de funcionamiento de las plantas de carrocerías se produce a introducir los datos relativos a los tiempos de ciclo que se quieren obtener debido los datos proporcionados por la Ford y los cuales se han calculado anteriormente.

En esta misma tabla se introducirán también los datos del tiempo medio entre reparaciones y el tiempo medio de reparación en cada una de las plantas de carrocerías. Estos datos se introducen en Data >> Tables >> Add Data Table como se muestra en la ilustración 47.

The screenshot shows the SIMIO software interface. The 'Data' menu is highlighted, and the 'Add Data Table' option is selected. The 'Tables' menu is also highlighted, showing a list of tables including 'Datos Carrocerías'. The 'Datos Carrocerías' table is displayed with the following data:

	Planta	Tiempo de ciclo (seg/coche)	MTBF (min)	MTTR (min)
1	Carroceria1	110,2	10	0,5
2	Carroceria2	107,03	10	0,5
3	Carroceria3	75,52	10	0,5
▶				

Ilustración 47: Introducción Tabla Datos Carrocerías (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)



Una vez introducidos estos datos en el programa de simulación, se han de asignar a las diferentes plantas de carrocerías para que trabajen con estos datos.

En primer lugar se asignan los datos correspondientes de la tabla al servidor de Carrocería1 tal y como se observa en la ilustración 48.

Properties: Carroceria1 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] <b>Process Logic</b>	
Capacity Type	WorkSchedule
[+] Work Schedule	Carroceria1Week
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
[+] Transfer-In Time	0.0
[+] Processing Time	DatosCarrocerias[1].TiempoDeCiclo
Units	Seconds
[+] <b>Buffer Capacities</b>	
[-] <b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	Processing Time Based
[+] Uptime Between Failures	DatosCarrocerias[1].MTBF
Units	Minutes
[+] Time To Repair	DatosCarrocerias[1].MTTR
Units	Minutes

Planta Carrocería

Tiempo de Ciclo

MTBF

MTTR

Ilustración 48: Propiedades Carrocería1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Se realiza el mismo proceso con la planta de Carrocería2 (ver Anexo IX: Introducción datos Carrocerías2) y Carrocería3 (ver Anexo X: Introducción datos Carrocerías3).

### 5.2.2.3. Proceso DecidirBIW

Con esto, ya están introducidos y asignados todos los datos necesarios para el correcto funcionamiento de las plantas de carrocerías. Lo único que quedaría por hacer en estas plantas es definir un proceso en el nodo de salida de la planta de carrocerías 3 donde se procesan los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy para decidir a qué parte del almacén BIW se dirige cada uno de ellos.

En la planta de carrocería 1 y en la planta de carrocería 2 no es necesario realizar este proceso ya que solo se procesa un solo modelo y estas plantas están unidas cada una a la parte del almacén que les corresponde directamente.

Por tanto, el almacén de Body In White (BIW) se divide en cinco partes, una dedicada para cada uno de los modelos, siendo la distribución de modelos la reflejada en la tabla 14.

Parte de almacén BIW	Modelo	Valor asignado ModelEntity.Modelo
BIW1	Kuga	1
BIW2	Transit	2
BIW3	Mondeo	3
BIW4	S-Max	4
BIW5	Galaxy	5

**Tabla 14: Clasificación BIW (elaboración propia)**

El proceso de envío de coches a su almacén BIW correspondiente se ejecutará cada vez que un coche entre en el nodo de salida de Carrocerías3 (Output@Carroceria3). La asignación y definición de este proceso se muestra en la ilustración 49.

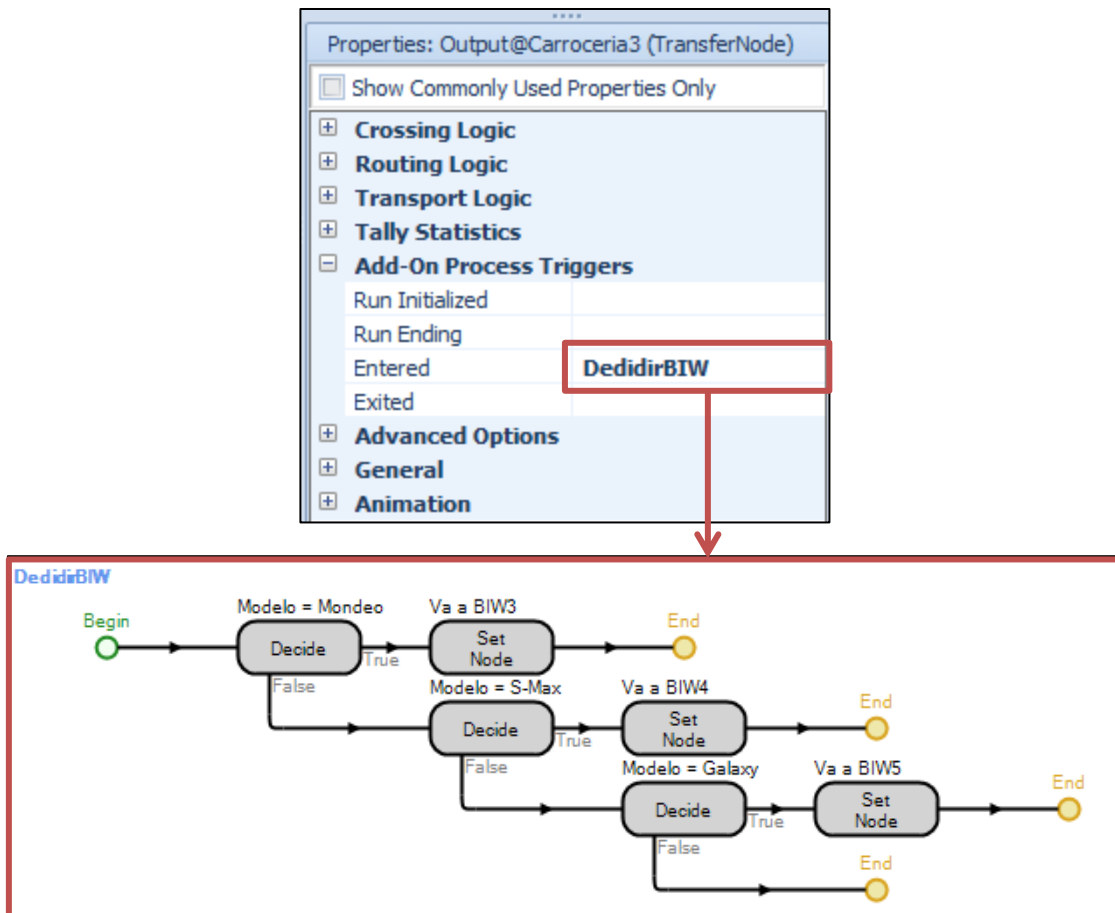


Ilustración 49: Proceso DecidirBIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

### 5.2.3. Body In White (BIW)

#### 5.2.3.1. Propiedades Body In White (BIW)

Dado que se tratan de almacenes, se les asigna un tiempo de procesado igual a cero y para que simule el funcionamiento de un almacén se le da capacidad infinita a su almacén de entrada y capacidad nula al almacén de salida. La introducción de estos datos se muestra en la ilustración 50.

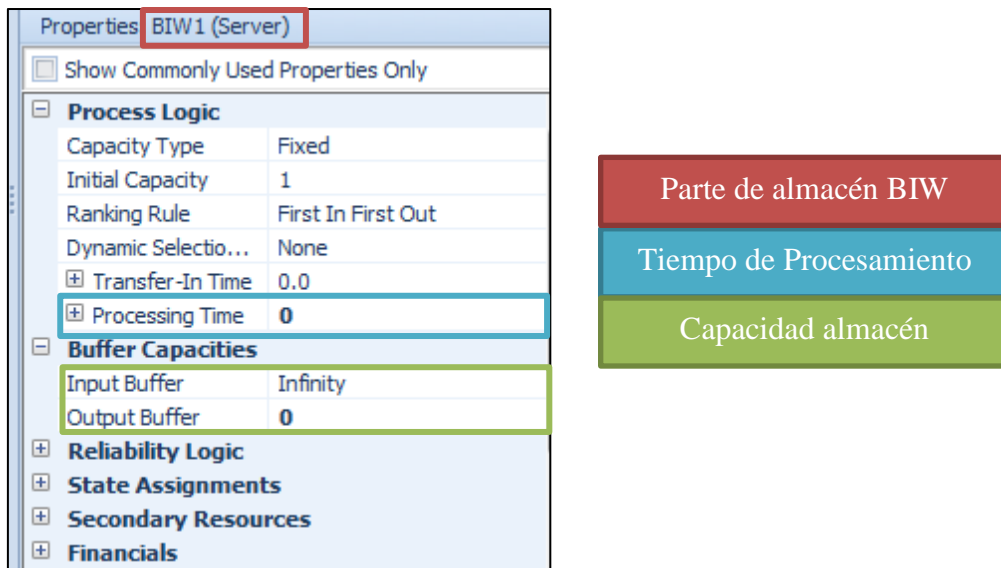


Ilustración 50: Propiedades BIW (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

Estos mismos datos se introducirán en las otras partes del almacén de Body In White (BIW2, BIW3, BIW4 y BIW5).

### 5.2.3.2. Proceso SalidaBIW

Además, se va a proponer que la salida de un coche de cada uno de los almacenes se produzca cada vez que se ejecute un evento. Para ello se dice en cada almacén que después de ser procesado, el coche deberá esperar hasta que el evento SalirBIW se ejecute.

El primer paso es crear los eventos para después poder decir que los coches esperen a salir del almacén hasta que esos eventos sucedan. La creación de estos eventos se realiza en Definitions >> Events tal y como se muestra en la ilustración 51.

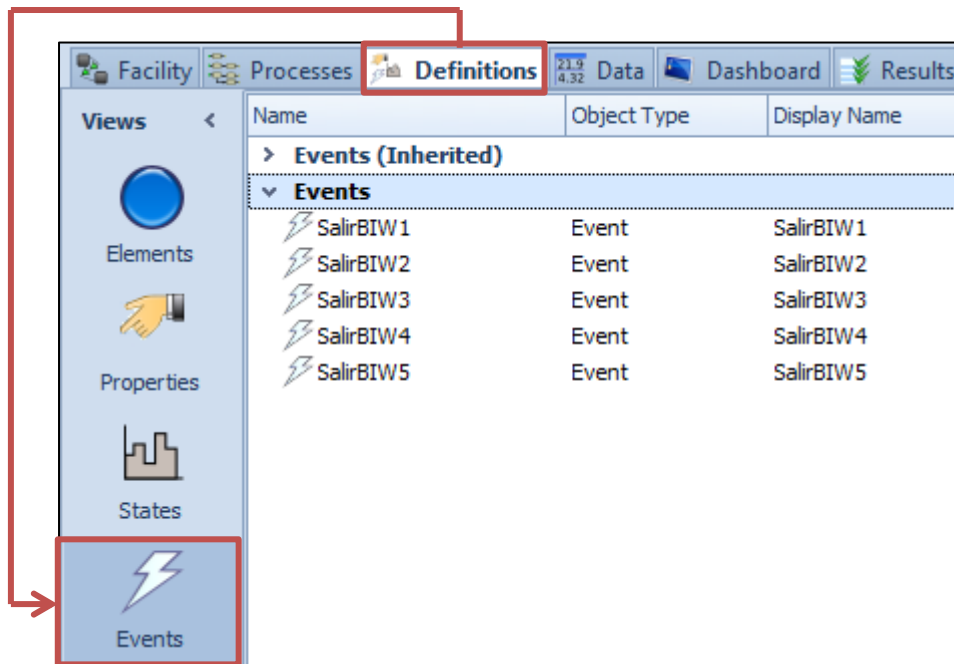


Ilustración 51: Introducción Eventos SalirBIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Se crea una tabla que contenga estos eventos para que sea más fácil su asignación a los procesos de cada parte del almacén y se crean también los procesos que hagan los coches esperar hasta que dicho evento se ejecute (ver ilustración 52).

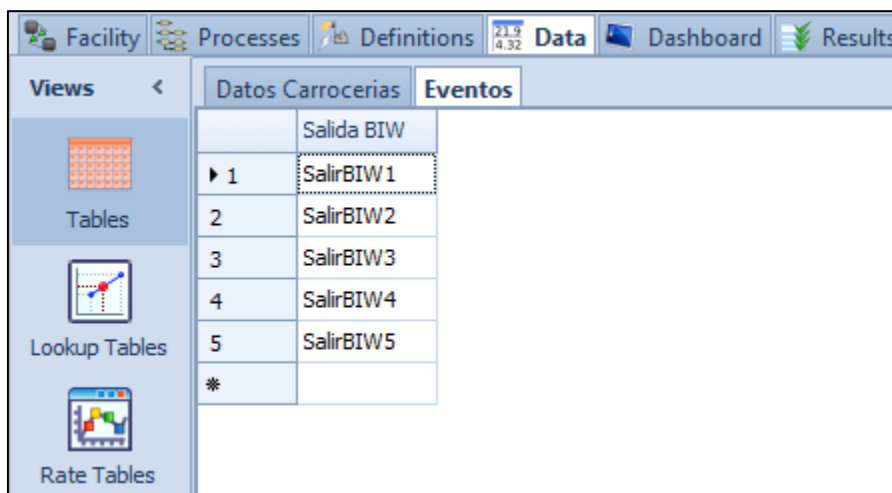


Ilustración 52: Introducción Tabla Eventos SalidaBIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

El ejemplo del proceso que se asignará a cada parte del almacén así como su asignación se muestra a continuación en la ilustración 53 con el caso de la parte del almacén correspondiente al modelo Kuga (BIW1):

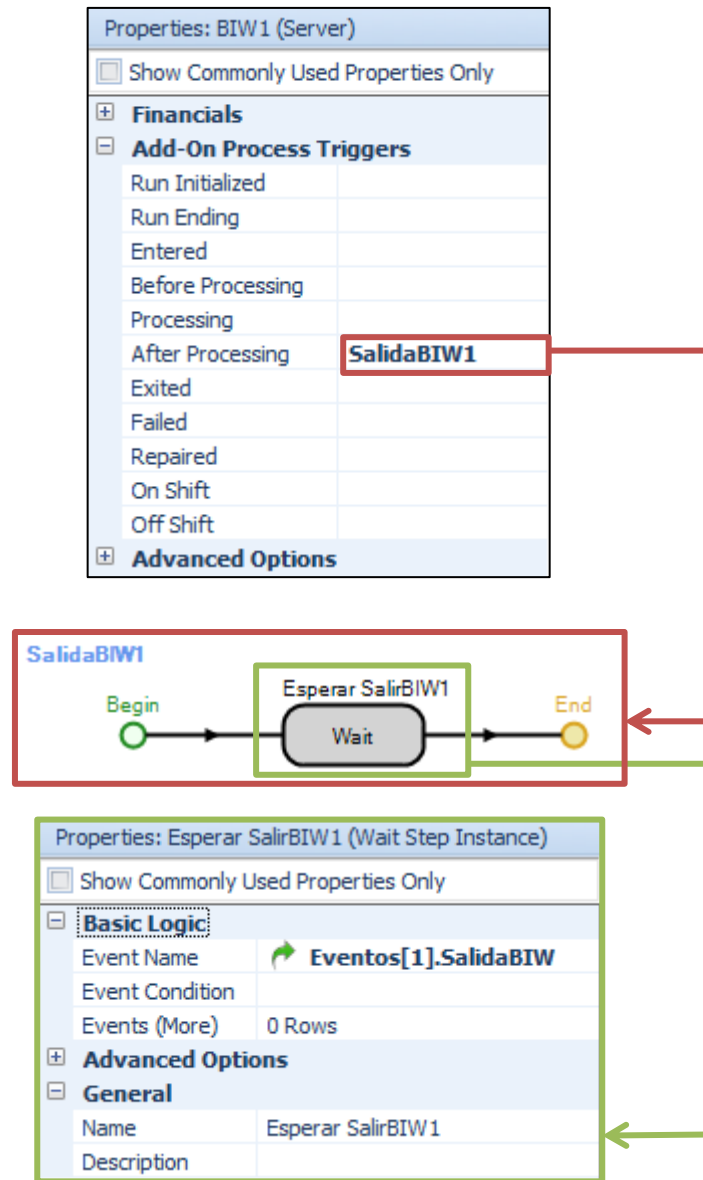


Ilustración 53: Proceso SalidaBIW1 (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

#### 5.2.4. Módulo de Pinturas

##### 5.2.4.1. Horarios y propiedades Pinturas

El procedimiento de introducción de datos tanto de los horarios como de las propiedades del módulo de Pinturas es el mismo que el detallado en el módulo de Carrocerías por lo que se detalla en el Anexo XI: Introducción datos Pinturas.

##### 5.2.4.2. Proceso DemandaPinturas

El siguiente paso es definir el proceso que se llevará a cabo para realizar la secuenciación de llegada de vehículos a las líneas de pinturas. Estos procesos se llamarán DemandaPinturas1 y DemandaPinturas2.

Esta secuenciación se realizará de manera que el próximo modelo escogido para ser pintado será aquel que tenga menor porcentaje de vehículos pintados respecto al número total de vehículos a procesar en ese mismo día. Por tanto, el primer paso será definir la manera de calcular este porcentaje.

###### 5.2.4.2.1. Proceso ActualizarProduccionPinturas

Para poder calcular el porcentaje de los vehículos de cada modelo que quedan por procesar a lo largo de un día, en primer lugar se tiene que poder contabilizar cuantos vehículos de cada modelo se han procesado en las líneas de pinturas.

Para ello, se crean dos contadores, uno para cada línea de pinturas, que realice esta contabilidad constantemente a lo largo de la simulación. Los contadores se definirán en el apartado de “estados” como un vector de tamaño 5, en el que en la primera posición se refiera al modelo Kuga (modelo=1), la segunda posición al modelo Transit (modelo=2) y así sucesivamente. La relación entre la posición del vector y el modelo aparece en la tabla 15.

Posición vector	Modelo	Valor asignado ModelEntity.Modelo
1	Kuga	1
2	Transit	2
3	Mondeo	3
4	S-Max	4
5	Galaxy	5

Tabla 15: Correspondencia Posición Vector ProduccionPinturas (elaboración propia)

. La definición de los vectores se realiza en el apartado Definitions >> States >> Real y se les da una dimensión de tipo vector de tamaño 5, asignándole a su vez el nombre escogido para el vector (ver ilustración 54). Los vectores recibirán el nombre de ProduccionPinturas1 y ProduccionPinturas2 para las líneas de pintura 1 y 2 respectivamente.

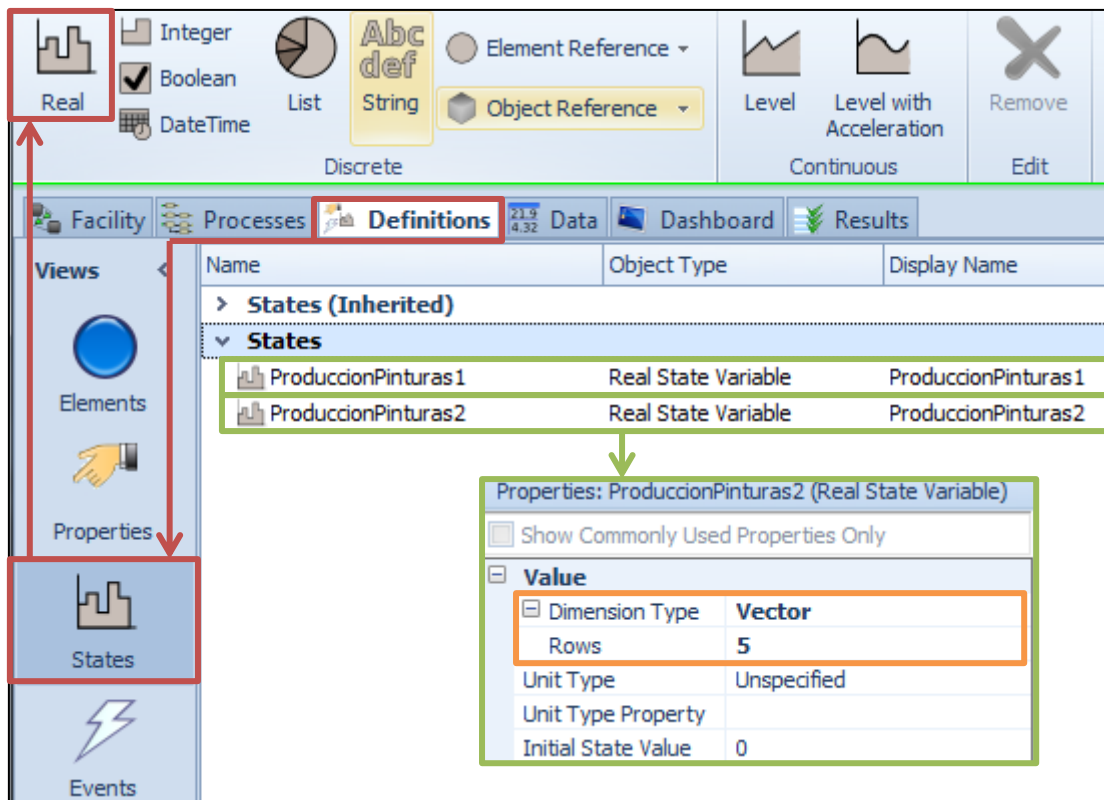


Ilustración 54: Definición Estados ProduccionPinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)



El proceso de ActualizarProduccionPinturas comprobará de qué modelo es el vehículo que se ha procesado e incrementará en 1 el valor del vector ProduccionPinturas correspondiente a la línea de pinturas en la que se encuentra. De esta manera se conoce a tiempo real cuantas unidades se han producido de cada modelo en las diferentes líneas de pinturas. Esto se realizará en el proceso de ActualizarPinturas1 para la línea Pinturas1 y el proceso ActualizarPinturas2 para la línea Pinturas2. El diagrama de flujo de este proceso para la línea de Pinturas1 se ve en la ilustración 55.

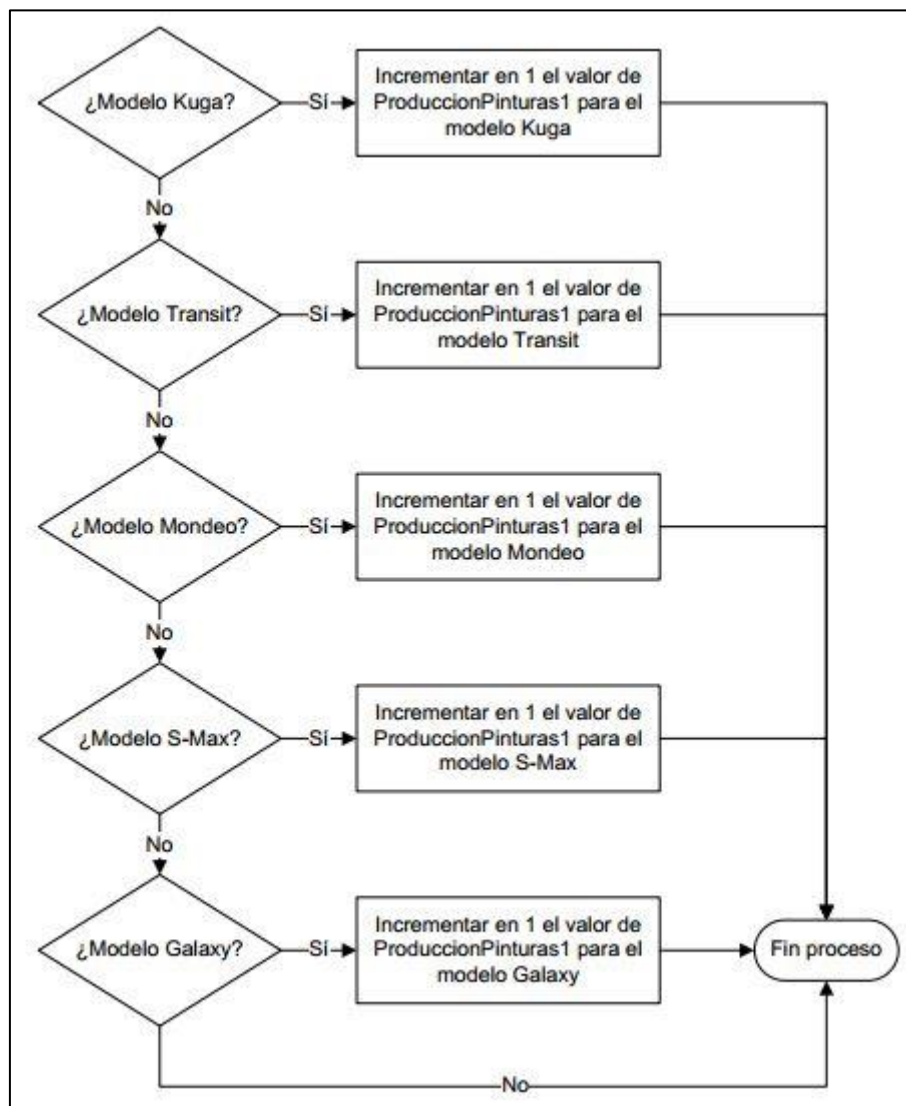


Ilustración 55: Diagrama de Flujo Proceso ActualizarProduccionPinturas1 (elaboración propia)

Se muestra en la ilustración 56 el proceso de ActualizarProduccionPinturas para la línea de Pinturas1 una vez se introduce en el programa de simulación SIMIO. En el caso de Pinturas2 se realiza el mismo proceso pero haciendo que el vector a actualizar sea ProduccionPinturas2 en vez de ProduccionPinturas1.

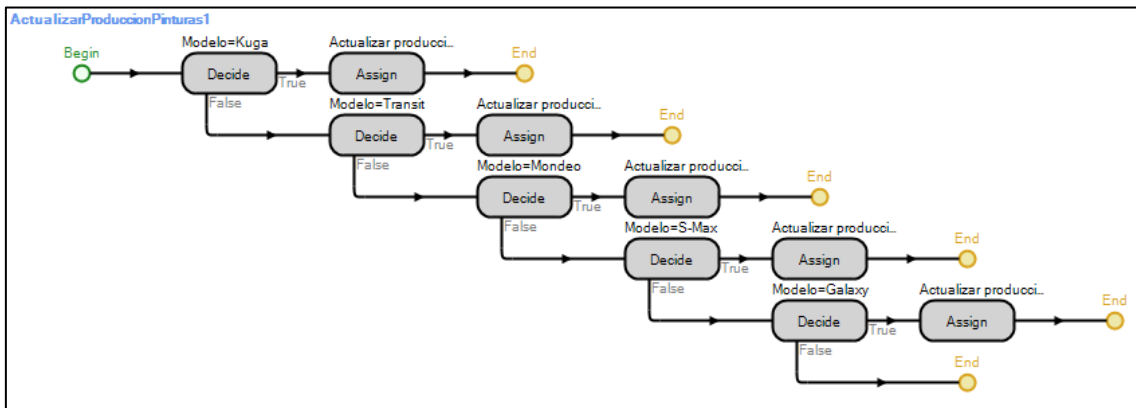


Ilustración 56: Proceso ActualizarProduccionPinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

#### 5.2.4.2.2. Definición VolumenPinturas

Se creará también una tabla donde se indique cual es la cantidad deseada de producción de los modelos en cada una de las líneas de pinturas para un día. Esta tabla se definirá con el nombre de VolumenPinturas (ver ilustración 57).

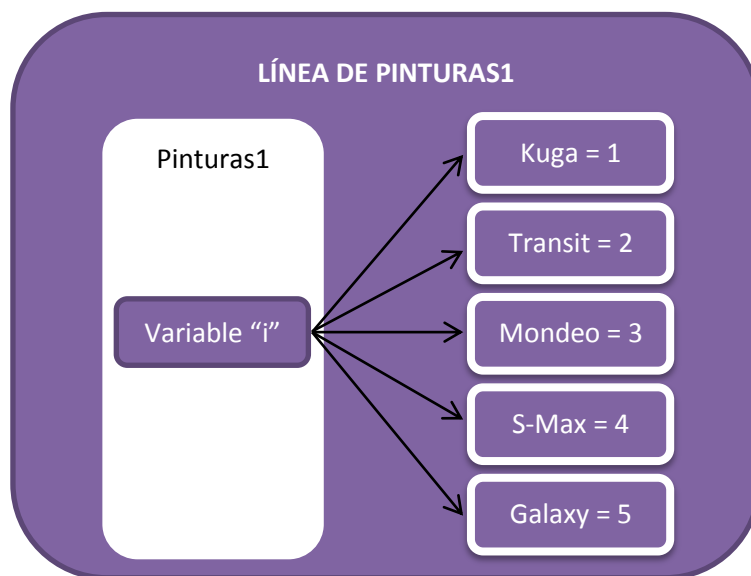
Views				
Datos Carrocerias		Eventos	Datos Pinturas	Volumen Pinturas
	Modelo	VolumenPinturas1 (coche/día)		VolumenPinturas2 (coche/día)
1	Kuga	435		15
2	Transit	0		695
3	Mondeo	605		0
4	S-Max	258		0
5	Galaxy	122		0

Ilustración 57: Introducción Tabla Volumen Producción Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## 5.2.4.2.3. Variables

Para poder realizar el proceso de DemandaPinturas correspondiente a la línea de Pinturas1 y sus procesos asociados se necesitan algunas variables auxiliares que se definen de la siguiente manera:

La variable “i” funcionará como contador para hacer la referencia a cada uno de los modelos. Así cuando “i” adquiera el valor 1 se referirá al modelo Kuga, cuando adquiera el valor 2 se referirá al modelo Transit, el valor 3 corresponderá al modelo Mondeo, el valor 4 al modelo S-Max y por último, el valor 5 corresponderá al modelo Galaxy. Esta información se encuentra resumida en la ilustración 58.



**Ilustración 58: Variable "i" (elaboración propia)**

También se definirán la variable “imin” que servirá para guardar el valor del modelo que cumpla la condición de tener menor porcentaje de vehículos procesados. De esta manera, el modelo que indique esta variable, será el siguiente en ser procesado. Se le dará un valor inicial igual a cero en el proceso para que posteriormente se actualice en el mismo proceso. La información de la variable “imin” aparece resumida en la ilustración 59.

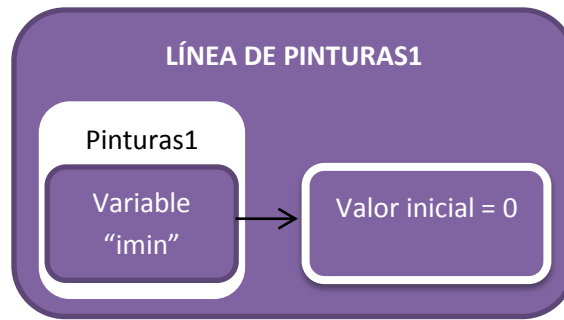


Ilustración 59: Variable "imin" (elaboración propia)

Otra variable a definir será la llamada “iminprod” en la cual se cuál es el menor valor del porcentaje de vehículos pintados respecto al total por pintar. El valor de esta variable corresponderá al porcentaje del mismo modelo que se ha guardado en la variable “imin”. Se le asignará a esta variable un valor inicial muy elevado para que luego sea comparado con los otros y se calcule el mínimo de ellos. La información de esta variable aparece en la ilustración 60.

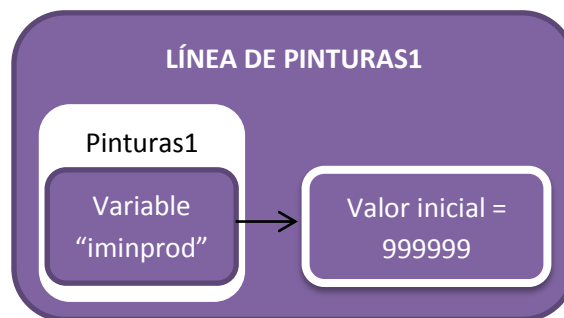


Ilustración 60: Variable "iminprod" (elaboración propia)

Por último, la variable “iaux” será una variable auxiliar que ayudará a la hora de hacer los cálculos internos del proceso.

5.2.4.2.4. Proceso CalcularMinimoPinturas

El diagrama de flujo donde se puede ver el proceso explicado gráficamente es el que aparece en la ilustración 61.

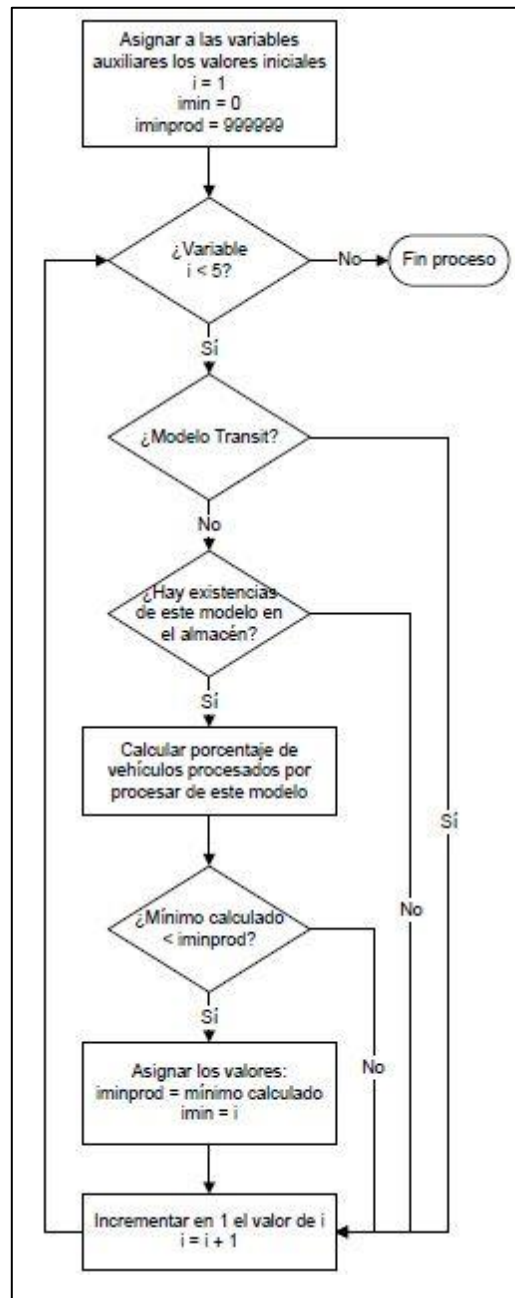


Ilustración 61: Diagrama de Flujo Proceso CalcularMinimoPinturas1 (elaboración propia)

El proceso de `CalcularMinimoPinturas1` comienza por asignar a las variables auxiliares sus valores iniciales, los cuales se han explicado en el apartado anterior.

El siguiente paso es crear un bucle mediante el cual se analizarán los porcentajes de vehículos producidos por los totales a producir de cada uno de los modelos. El bucle se consigue realizar poniendo una decisión que sea si la variable “`i`” es menor o igual que 5. En el caso de que no se cumpla la condición se acaba el proceso.

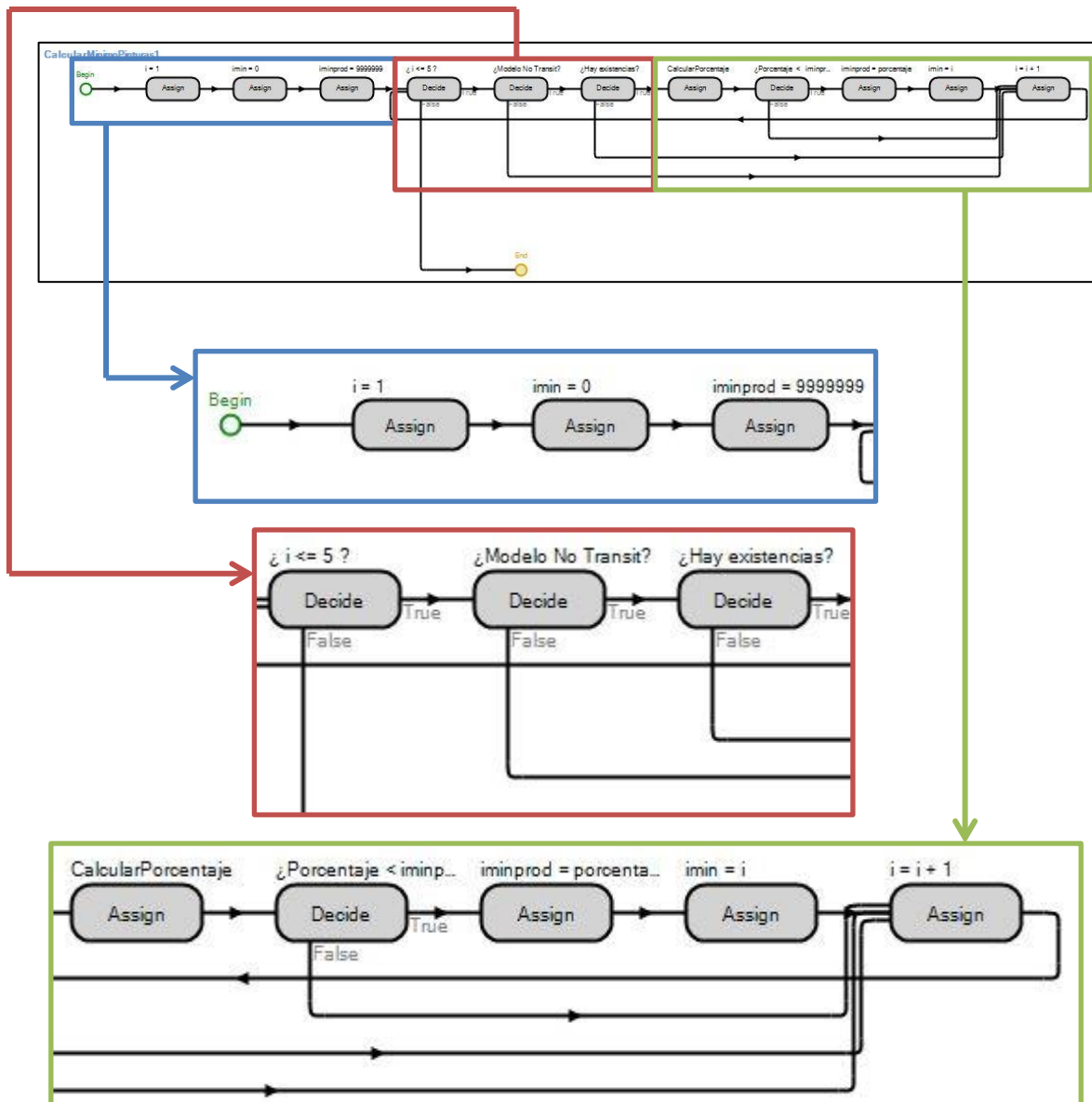
En el caso de que se cumpla esta condición, se comprobará inicialmente si el modelo a analizar es un modelo `Transit`. En caso afirmativo, se dirige al final del bucle sumándole una unidad al valor “`i`” ya que el `Transit` no se procesa en la línea de pinturas 1. En cambio si se trata de otro modelo, se sigue con el proceso.

Se comprueba a continuación si el modelo de vehículos que se está analizando tiene existencias en su almacén `BIW`. En caso afirmativo, se continúa con el proceso, y en caso negativo, se procede a analizar el siguiente modelo.

Se realiza el cálculo del porcentaje de vehículos procesados de un modelo por vehículos a procesar del mismo modelo a lo largo del día. Si el valor obtenido es menor que la variable “`iminprod`”, se le asigna a la variable “`imin`” el valor del modelo y a la variable “`iminprod`” el valor del porcentaje.

Tras esto se procede a evaluar el siguiente modelo hasta finalizar el bucle. Como resultados de este proceso se tendrá por tanto el valor del modelo que se tiene que procesar a continuación en la línea de pinturas 1.

A continuación se muestra en la ilustración 62 la definición de este proceso completo en el programa de simulación `SIMIO`.



**Ilustración 62: Proceso CalcularMinimoPinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

#### 5.2.4.2.5. Proceso Iniciar

Para que los almacenes de BIW no estén vacíos al empezar la simulación, se añadirán unas entradas de material que llenen el almacén al inicio de la misma. Para ello se definirá que estas entradas mandan una determinada cantidad de coches al almacén BIW con un evento que se ejecuta en el inicio de la simulación. El proceso que ejecuta el evento es el siguiente:

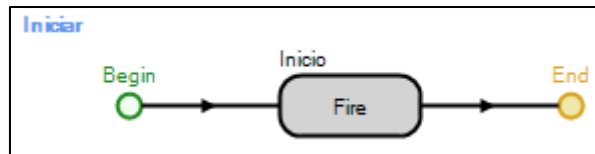


Ilustración 63: Proceso Iniciar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

También se tiene en cuenta que en estas entradas habrá que asignar a cada uno de los coches el modelo al que pertenecen.

#### 5.2.4.2.6. Proceso DemandaPinturas

El diagrama de flujo donde se puede ver el proceso explicado gráficamente es el que aparece en la ilustración 64.

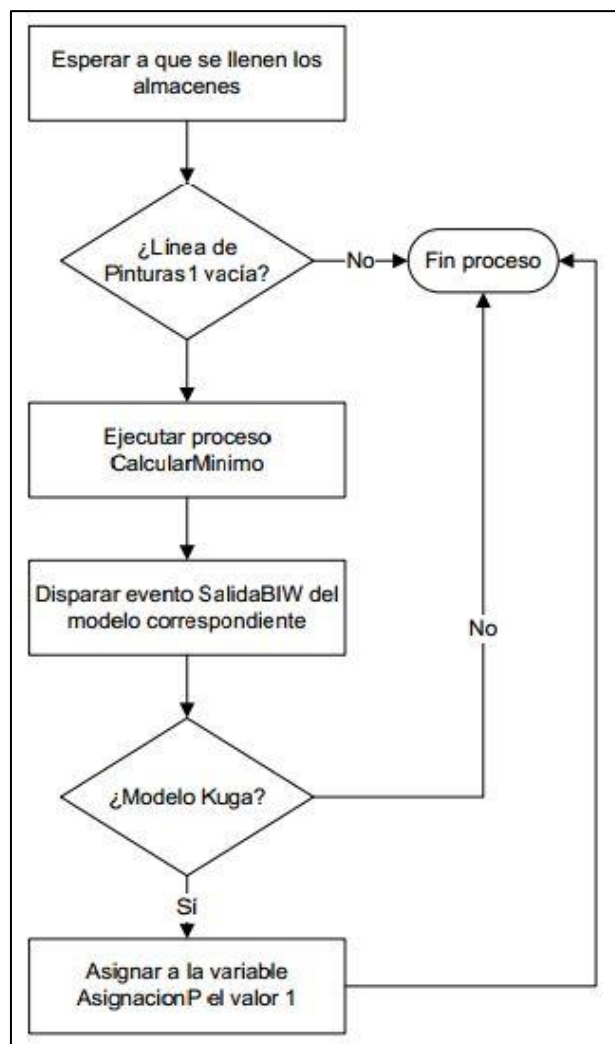


Ilustración 64: Diagrama de Flujo Proceso DemandaPinturas1 (elaboración propia)



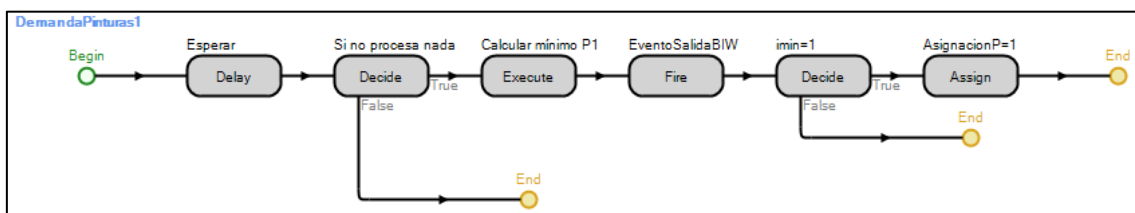
En el proceso de DemandaPinturas1, el primer paso es que el proceso espere un pequeño tiempo para realizar un pedido. De esta manera, da tiempo a que los almacenes se llenen al empezar una simulación.

Después se plantea la cuestión de si la línea de Pinturas1 está vacía o está procesando algún vehículo. En caso de que esté procesando algún vehículo, se finaliza el proceso y en el caso de que esté vacío, se ejecuta el proceso CalcularMinimoPinturas1 que se ha explicado anteriormente.

Cuando se lleva a cabo el proceso CalcularMinimoPinturas1, este devuelve el valor del modelo del siguiente vehículo a procesar. Se utiliza este valor para ejecutar el evento de salida del almacén correspondiente a dicho modelo.

Hasta aquí llega el proceso para todos los modelos excepto para el modelo Kuga que puede ser pintado en la línea de Pinturas1 o en la línea de Pinturas2 y por tanto se le asignará un valor de 1 a una variable llamada AsignacionP cuando se destine este coche a la línea de Pinturas1 y cuando tenga un valor de 2 el coche se destinará a la línea de Pinturas2.

A continuación se muestra en la ilustración 65 la definición de este proceso completo en el programa de simulación SIMIO.



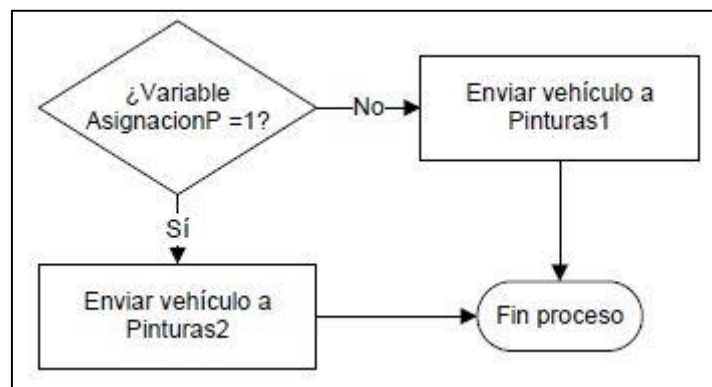
**Ilustración 65: Proceso DemandaPinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

## 5.2.4.2.7. Proceso Pinturas

Decisión de a qué línea de pintura se destina el modelo Kuga en cada ocasión que se ejecute el evento de salida de la parte de almacén correspondiente al mismo. Como se ha dicho anteriormente, en el proceso de DemandaPinturas1 y DemandaPinturas2, se asigna a una variable llamada AsignacionP el valor 1 o 2 dependiendo de si el modelo es demandado por la línea de Pinturas1 o Pinturas2.

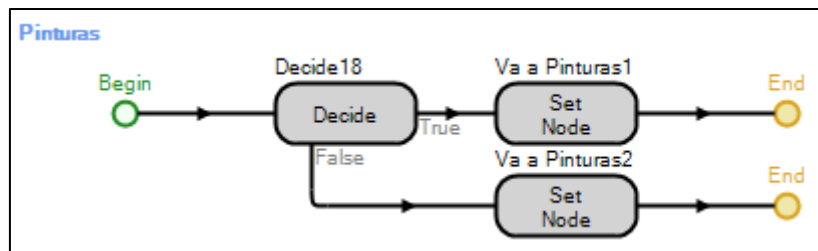
Para ello se realizará un evento que se ejecutará cuando entre un coche en el nodo de salida del almacén BIW1. En él se decidirá si el valor de AsignacionP es 1 o 2, y se enviará el coche a la línea de pintura correspondiente.

El diagrama de flujo donde se puede ver el proceso explicado gráficamente es el que aparece en la ilustración 66.



**Ilustración 66: Diagrama de Flujo Proceso Pinturas (elaboración propia)**

A continuación se muestra en la ilustración 67 la definición de este proceso completo en el programa de simulación SIMIO.



**Ilustración 67: Proceso Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

#### 5.2.4.2.8. Línea de Pinturas2

Una vez realizados todos los procesos pertinentes para la línea de Pinturas1, se debe de repetir algunos de los procesos para la línea de Pinturas2.

Todos los procesos se realizarán de la misma manera que en la línea de Pinturas1 pero hay que tener en cuenta unos matices:

En primer lugar habrá que tener en cuenta que las variables auxiliares se deberán nombrar de manera diferente. En las variables de la línea de Pinturas1 todas empezaban con la letra “i”, en cambio se definen las variables “j”, “jmin”, “jaux” y “jminprod” para la línea de Pinturas2.

Por otro lado, la línea de Pinturas2 tan solo puede procesar los modelos de vehículos Kuga y Transit con lo cual, en el proceso de DemandaPinturas2 solo se realizará un bucle que comprenda los valores de modelo 1 y 2.

Por último, y como ya se ha mencionado anteriormente, en el proceso de DemandaPinturas2 si se realiza la secuenciación de un modelo Kuga se le asignará a la variable AsignaciónP el valor 2. De esta manera el Kuga que salga del almacén BIW tendrá como destino la línea de Pinturas2.

La definición de los procesos `DemandaPinturas2`, `ActualizarProduccionPinturas2` y `CalcularMinimoPinturas2` en el programa de simulación SIMIO aparece en el Anexo XII: Procesos Línea de Pinturas2.

#### **5.2.5. Automatic Storage Retrieval System (ASRS)**

Dado que se trata de otro almacén, su funcionamiento será básicamente igual al del almacén Body In White, explicado anteriormente en el apartado 5.2.3.

Tanto la asignación de propiedades del almacén como el proceso de salida del almacén que se utilizó anteriormente para el almacén BIW serán de nuevo utilizados para este apartado. Por tanto se puede encontrar todo este proceso mucho más detallado en el Anexo XIII: Introducción datos Automatic Storage Retrieval System (ASRS) y el Anexo XIV: Proceso SalidaASRS.

#### **5.2.6. Trim**

##### **5.2.6.1. Horarios y propiedades Trim**

El procedimiento de introducción de datos tanto de los horarios como de las propiedades del módulo de Trim es el mismo que el detallado en el módulo de Carrocerías por lo que estos pasos se detallan en el Anexo XV: Introducción datos Trim.

##### **5.2.6.2. Proceso DemandaTrim**

Por otro lado, se deben proponer el proceso que define qué coches son demandados en cada momento del almacén de ASRS para que estos sean procesados en las líneas de Trim.

El proceso de secuenciación será muy parecido a los procesos empleados en el módulo de Pinturas. La relación entre las líneas de pinturas y Trim son que Pinturas1 tiene los mismos procesos que Trim1 y la línea de Pinturas2 tiene los mismos procesos que Trim2. Los cambios en cuanto a los procesos de Pinturas son el nombre de las variables a utilizar. El detalle de la realización de los procesos aparece explicado con mayor profundidad en el Anexo XVI: Procesos Módulo de Trim.



## 6. Validación del modelo

En este apartado se tratará de comprobar si el modelo representa el proceso productivo de la planta Ford de Almussafes y por tanto, si se puede utilizar los resultados que se obtengan con la simulación para sacar conclusiones del funcionamiento de esta planta.

Para validar el modelo propuesto en los puntos anteriores se van a realizar dos pruebas. En primer lugar, se realizará una simulación con una duración de 24 horas. Si el modelo fuera válido y reflejara correctamente el sistema que se desea simular, se debería obtener un resultado de producción total de vehículos en cada una de las plantas muy similar a la dada en los datos de producción.

Los datos a obtener según los requerimientos de la empresa Ford en las plantas de pinturas (Pinturas1 y Pinturas2) y en las plantas de Trim (Trim1 y Trim2) son los que aparecen en la tabla 16.

Modelo	Producción diaria Pinturas1 (coche/día)	Producción diaria Pinturas2 (coche/día)	Producción diaria Trim1 (coche/día)	Producción diaria Trim2 (coche/día)
Kuga	435	15	80	370
Transit	-	695	-	695
Mondeo	605	-	605	-
S-Max	258	-	258	-
Galaxy	122	-	122	-

**Tabla 16: Producción Diaria Teórica Pinturas y Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford)**

Para observar cuantos automóviles de cada modelo se fabrican según la simulación durante un día en cada una de estas plantas se pondrán unas etiquetas de estado en el modelo. Estas etiquetas muestran de forma visual al usuario en cada momento cual es el valor de una expresión. Se emplearán tantas etiquetas como datos se quieran obtener.

En este caso se quiere saber la producción de cada planta por cada modelo y por tanto los estados que se mostrarán serán: ProduccionPinturas1, ProduccionPinturas2, ProduccionTrim1 y ProduccionTrim2.

Tal y como se explicó en la propuesta del modelo, estos estados son vectores de cinco posiciones y cada una de las posiciones del vector corresponde a un modelo de vehículo.

Como ejemplo se muestra a continuación en la ilustración 68 las propiedades de la etiqueta correspondiente a la producción de la planta Pinturas1 (vector ProduccionPinturas1) para el modelo Kuga (posición del vector 1):

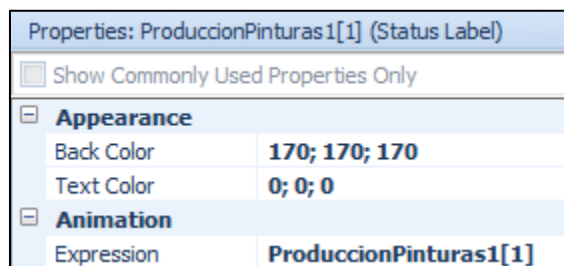


Ilustración 68: Propiedades Etiqueta ProduccionPinturas1 para Kuga (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)



Se prepara en la vista principal del programa de simulación SIMIO una tabla como la tabla 30 pero con las etiquetas de estado nombradas. Con ello se obtienen tras realizar una simulación de 24 horas de simulación los resultados de producción<sup>5</sup> mostrados en la ilustración 69.

	Pinturas1	Pinturas2	Trim1	Trim2
Kuga	435	15	80	371
Transit	0	696	0	697
Mondeo	606	0	606	0
S-Max	259	0	259	0
Galaxy	123	0	123	0

Ilustración 69: Resultados Producción Diaria Pinturas y Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Si se compara la producción diaria teórica con la que se obtiene por medio de una simulación se observa que efectivamente los resultados son muy similares y que se cumple el objetivo de producción propuesto por la empresa Ford en todos los modelos. También hay algunos casos en los que se fabrica algún modelo de más a lo largo del día como se puede comprobar en la tabla 17.

<sup>5</sup> Los resultados mostrados reflejan los coches producidos a lo largo del día por lo que las unidades son coches/día.

Modelo	Diferencia Producción teórica y simulada Pinturas1 (coche/día)	Diferencia Producción teórica y simulada Pinturas2 (coche/día)	Diferencia Producción teórica y simulada Trim1 (coche/día)	Diferencia Producción teórica y simulada Trim2 (coche/día)
Kuga	0,00%	0,00%	80 - 80 = 0	0,27%
Transit	-	0,14%	-	0,29%
Mondeo	0,17%	-	0,17%	-
S-Max	0,39%	-	0,39%	-
Galaxy	0,82%	-	0,82%	-

**Tabla 17: Diferencia Producción Teórica y Simulada en Pinturas y Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford y resultados obtenidos)**

La segunda prueba que se lleva a cabo para validar este modelo es comprobar si al realizar una simulación de varios días, el nivel de componentes en cada uno de los almacenes sigue un mismo patrón. De esta manera se comprueba si es un sistema estable o inestable (si se está produciendo más de lo que se consume o si se consume más de lo que se produce).

Para ello se observará mediante un gráfico cual es la cantidad de cada modelo de vehículo que está almacenado tanto en el almacén de Body In White (BIW) como en el almacén de Automatic Storage Retrieval System (ASRS) a lo largo del tiempo.

Se puede observar en la ilustración 70 que los niveles de almacén para una semana en el almacén Body In White (compuesto por cinco áreas, cada una destinada a un modelo) sigue un mismo patrón a lo largo del día y al final del día tiene el mismo valor que el valor inicial del día.

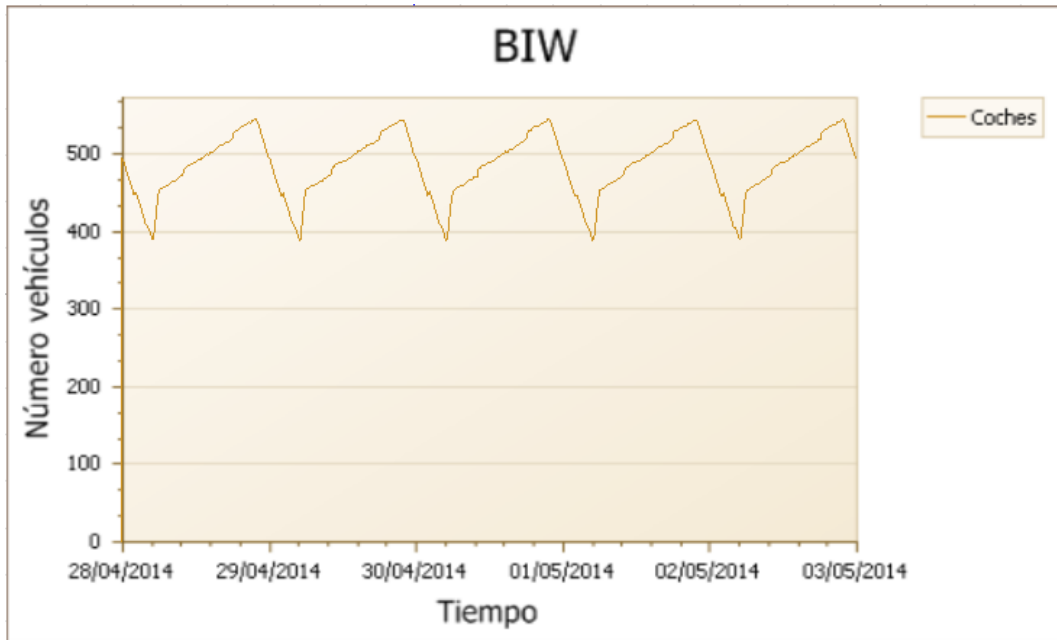


Ilustración 70: Nivel Almacén BIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

También se puede comprobar que se mantiene un patrón diario del nivel de almacén de cada uno de los modelos en el almacén BIW. Para ello se verá el gráfico con los diferentes niveles de stock a lo largo del tiempo de cada uno de los modelos.

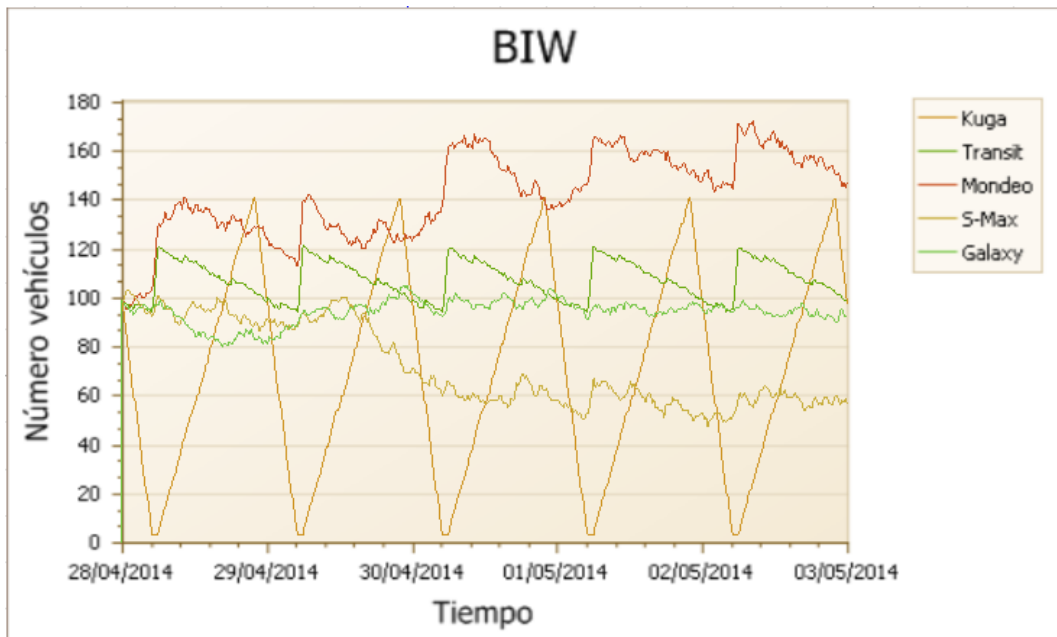
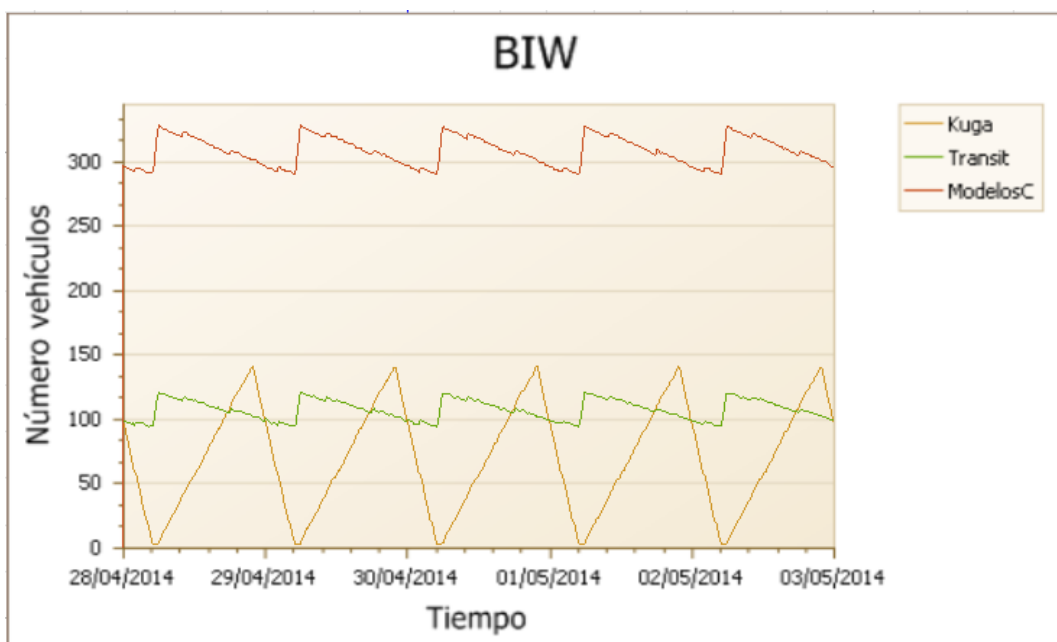


Ilustración 71: Nivel Stock BIW por Modelo (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

En el caso del almacén Body In White, se puede observar en la ilustración 71 que los modelos Kuga y Transit siguen un patrón diario en cuanto a su nivel de stock. Sin embargo, al considerar los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy no se observa dicho patrón. Esto se debe a que la entrada de cada uno de estos tres modelos en su área correspondiente del almacén BIW se produce aleatoriamente. Prueba de ello es que si agregamos los datos de estos tres modelos en uno solo en otra grafica sí que deben seguir un patrón en cuanto al nivel de stock.



**Ilustración 72: Nivel de Stock BIW (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

En este último gráfico (ilustración 72) en el que se ha nombrado al agregado de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy como ModelosC, se puede observar cómo se siguen patrones diarios en el nivel de stock de los modelos.

Queda por tanto validado el modelo del almacén BIW en tanto que es un sistema estable y que está produciendo lo mismo que se está demandando, tal y como fija la base del Just In Time y como se propone en este proyecto

Del mismo modo, se puede hacer esta misma comprobación con en el almacén Automatic Storage Retrieval System (ASRS) que también está compuesto de cinco áreas (una por cada modelo de producto).

En el grafico en que se comprueba el nivel de almacén del conjunto de áreas a lo largo del tiempo durante una semana (ilustración 73) se ve claramente que también se sigue un patrón diario.

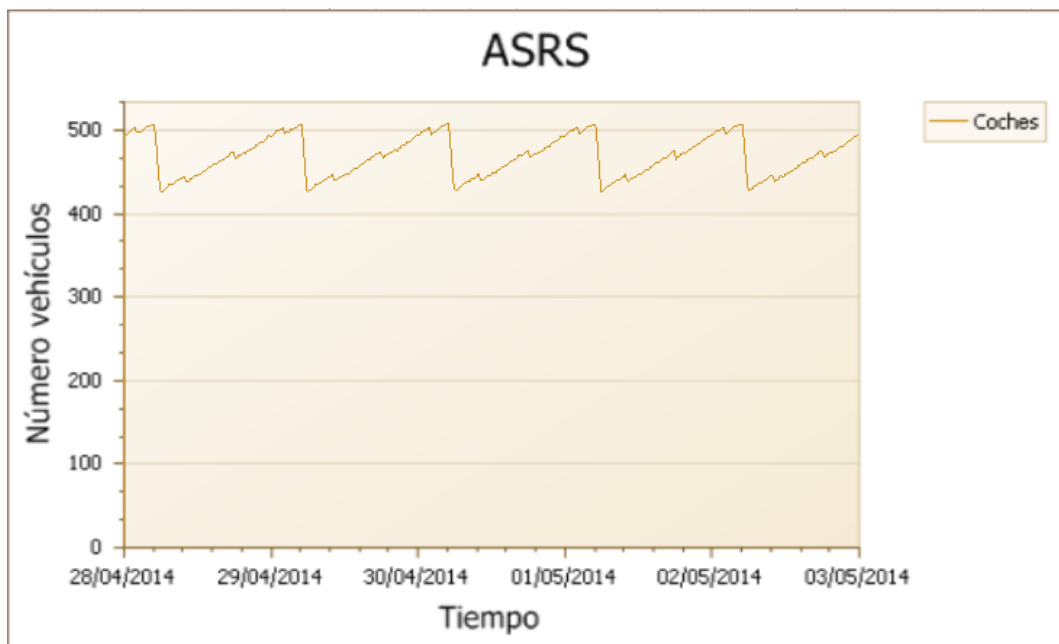
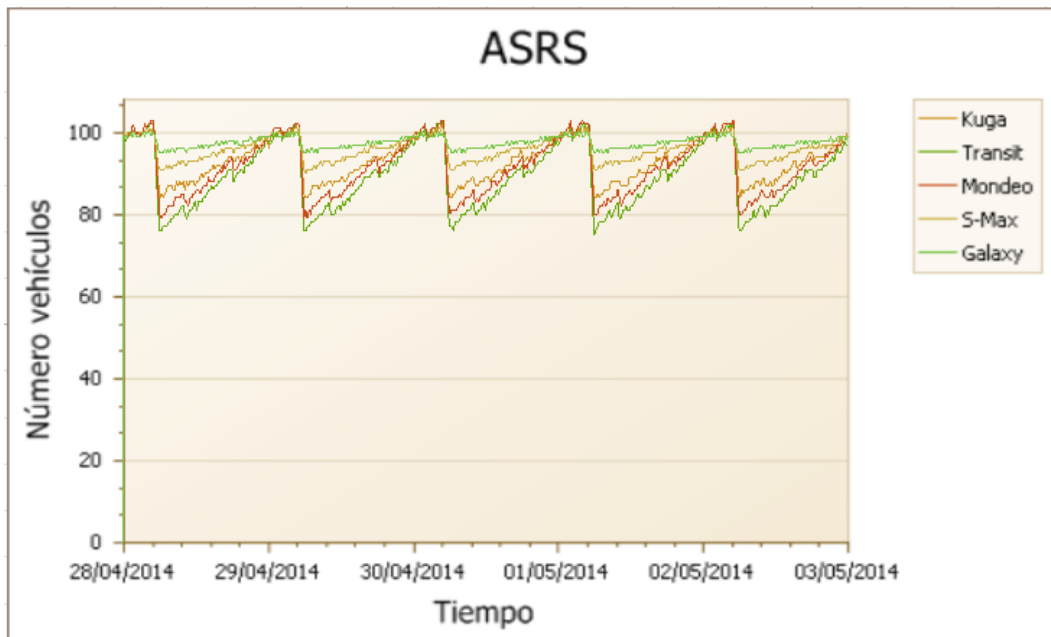


Ilustración 73: Nivel Almacén ASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

También se puede comprobar que se mantiene un patrón diario del nivel de almacén de cada uno de los modelos en el almacén ASRS. Para ello se verá el gráfico de la ilustración 74 con los diferentes niveles de stock a lo largo del tiempo de cada uno de los modelos.



**Ilustración 74: Nivel Stock ASRS por Modelo (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

En el caso del almacén ASRS, se puede observar en la anterior ilustración que todos los modelos siguen un patrón diario en cuanto a su nivel de stock dado que su llegada y salida no se producen de forma aleatoria.

De esta manera se da por validado el modelo con esta segunda prueba realizada a ambos almacenes.

Tras realizar la comprobación de que a lo largo de un día se cumple con los requisitos de producción propuestos por la empresa y comprobar también que los niveles de inventario en los diferentes almacenes se mantienen constantes a lo largo del tiempo repitiendo unos patrones, se da por validado el modelo de simulación. Por tanto se podrán utilizar sus resultados para sacar conclusiones sobre esta planta de producción.

## 7. Diseño y realización del experimento

Una vez validado el modelo se diseñan experimentos de simulación con los cuales se pueda observar cual es el comportamiento del sistema ante varias situaciones. Con ello se podrán sacar conclusiones útiles para conocer la planta de producción de la empresa y para poder saber cómo hacer uso de ella correctamente.

Para los experimentos se realizará varios cambios en el mix de producción propuesto por la Ford España. Con ello se quiere representar los diferentes casos de demanda cambiantes que pueden suceder en esta planta de producción. Se verá cómo reacciona el sistema ante estos cambios y se sacará conclusiones sobre las restricciones que el sistema presenta.

Los experimentos que se plantea realizar en este proyecto son los que aparecen en la tabla 18.

	Mix de producción				
	Kuga	Transit	Mondeo	S-Max	Galaxy
Experimento 1				50%	50%
Experimento 2		50%	50%		
Experimento 3	20%	20%	20%	20%	20%
Experimento 4		50%			50%
Experimento 5	50%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%
Experimento 6	12,5%	50%	12,5%	12,5%	12,5%
Experimento 7	12,5%	12,5%	50%	12,5%	12,5%
Experimento 8	40%		20%	20%	20%
Experimento 9		40%	20%	20%	20%
Experimento 10	25%	25%			50%

Tabla 18: Experimentos a Realizar (elaboración propia a partir de la decisión de casos a estudiar)

## 7.1. Experimento 1

En el primer experimento se va a plantear la situación en que no se realice producción de los modelos de vehículos Kuga, Transit ni Mondeo. Por tanto, solo se producirán modelos S-Max y Galaxy. Se decide que se van a producir ambos en la misma cantidad por lo que a cada uno se le asignará la mitad de la producción.

En la tabla 19 se refleja cuál será el nuevo mix de producción según este experimento y cuál será por tanto el volumen de producción diario objetivo para la planta de Almussafes.

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	0%	0
Transit	0%	0
Mondeo	0%	0
S-Max	50%	1065
Galaxy	50%	1065
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 19: Mix de Producción Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 1)**

Se realiza el cambio de los datos del mix de producción en el programa de simulación y tras ello se lleva a cabo una simulación. Para ello tan solo se han de cambiar los datos de las tablas de Volumen de Pinturas y de Volumen de Trim donde se reflejaba la producción objetivo diaria en cada una de esas plantas.



Recordando la información dada en los apartados anteriores, el modelo S-Max y el modelo Galaxy tan solo se pueden procesar en la planta de pinturas llamada Pinturas1 y en la planta de Trim llamada Trim1. Por tanto, la producción diaria objetivo en cada una de las plantas será la mostrada en la tabla 20.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	S-Max	1065	2130
	Galaxy	1065	
<b>Pinturas 2</b>	S-Max	0	0
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	S-Max	1065	2130
	Galaxy	1065	
<b>Trim2</b>	S-Max	0	0
	Galaxy	0	

**Tabla 20: Producción por Modelos Objetivo Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 1)**

Se introducen estos datos en el modelo de simulación anteriormente presentado y se realiza una simulación de 24 horas para ver cuál es la reacción del sistema ante esta nueva demanda. Los resultados obtenidos a partir de la simulación han sido los mostrados en la tabla 21.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas1</b>	S-Max	711	1423
	Galaxy	712	
<b>Pinturas2</b>	S-Max	0	0
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	S-Max	534	1068
	Galaxy	534	
<b>Trim2</b>	S-Max	0	0
	Galaxy	0	

**Tabla 21: Producción por Modelos Obtenida Experimento 1 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 1)**

Con los datos obtenidos mediante la simulación se puede comprobar que la producción diaria de cada uno de los modelos en la planta de Almussafes sería bastante inferior a la producción objetivo que se ha fijado. Esto se debe en principio a que solamente se está utilizando la mitad de la planta de producción para llevar a cabo toda la producción.

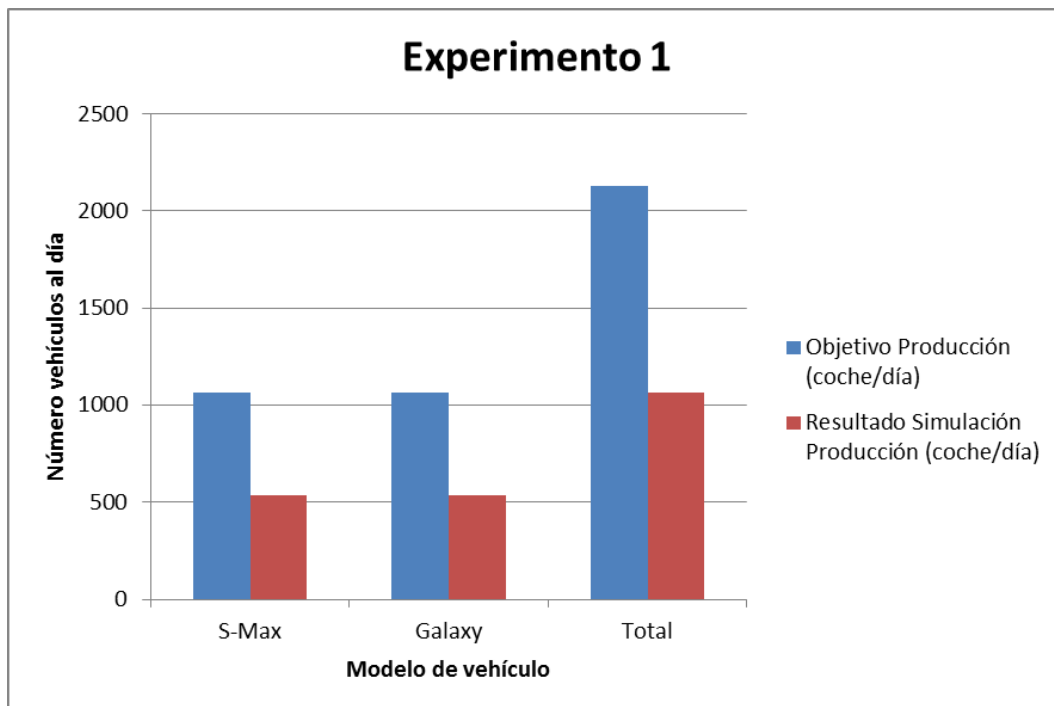
Con la demanda presentada en este experimento, a lo largo del día tan solo saldrían de la planta 1068 automóviles acabados mientras que el objetivo era de 2130 vehículos por día. Esto quiere decir que según la simulación tan solo se podría producir en este sistema el 50,14% de vehículos respecto al objetivo. Por tanto, no se cumple el objetivo de producción propuesto.

Modelos	Resultado Simulación Producción (coche/día)	Objetivo Producción (coche/día)	Desviación
S-Max	534	1065	50,14%
Galaxy	534	1065	50,14%
<b>Total</b>	1068	2130	50,14%

**Tabla 22: Resultados Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 1)**

Se considera a partir de la tabla 22 que la producción diaria total de la planta de producción de Ford en Almussafes es igual a la producción diaria total que se está realizando en las plantas de Trim. Esto es así ya que la salida del material de la planta se hace inmediatamente después de que un coche sea procesado en Trim.

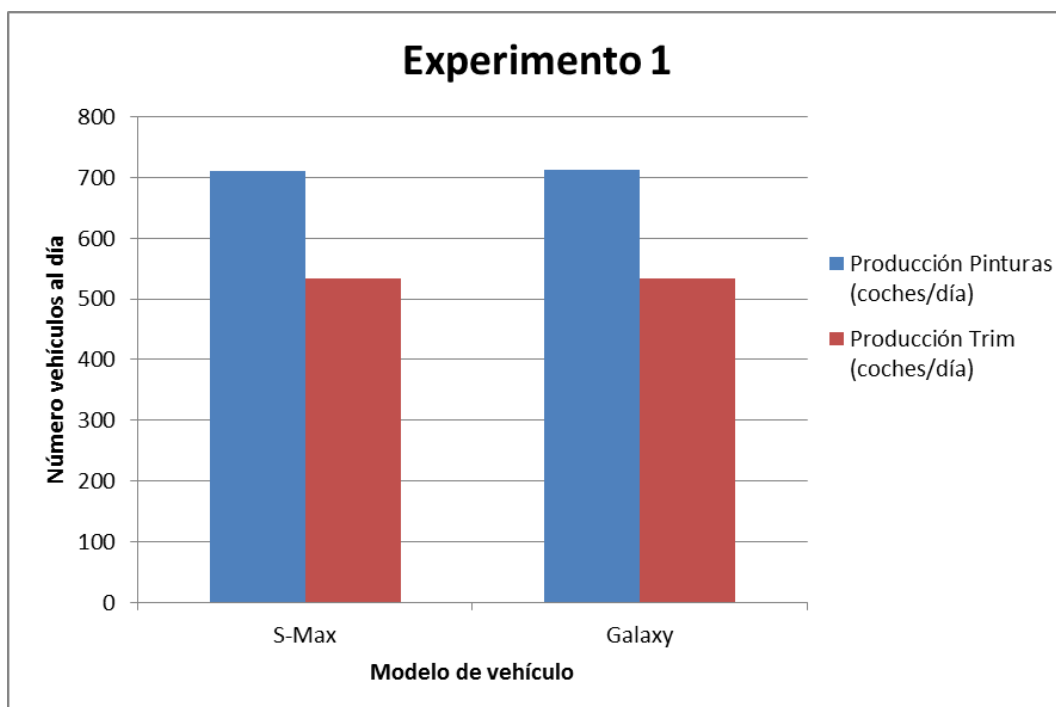
En el siguiente gráfico (ver ilustración 75) se pueden observar los datos de los resultados de la simulación comparados con el objetivo de producción de una forma más visual para el total de los vehículos:



**Ilustración 75: Resultados Experimento 1 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 1)**

Como conclusiones de los casos en que solamente se haga uso de una de las dos líneas de pintura y de Trim, se puede extraer que no sería viable mantener un mismo ritmo de producción, con unos mismos tiempos de ciclo en las diferentes plantas y con las mismas restricciones sobre qué modelo se puede procesar en cada planta ya que de esa manera, se está desaprovechando la mitad de la capacidad de la factoría.

Así mismo, se debe tener presente que este modelo está realizado con la condición de que los almacenes tanto de Body In White (BIW) como de Automatic Storage Retrieval System (ASRS) estén llenos y que por tanto haya un flujo continuo en la planta de producción. Para ver si realmente se va a producir un flujo continuo de producción en el caso de que la demanda sea la de este experimento, se compara la producción de cada uno de los modelos en el módulo de Pinturas y en el módulo de Trim.



**Ilustración 76: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 1 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 1)**

Al analizar la gráfica que aparece en la ilustración 76 se comprueba que en este caso, se produce más rápidamente en la planta de pinturas que en la planta de Trim por lo que no habría problema en cuanto a rotura de stock en el almacén intermedio entre ambas plantas. En cambio, como entra más material en el almacén ASRS del que se le demanda, el nivel de stock de cada uno de estos modelos iría aumentando a lo largo del tiempo con lo que se puede llegar a un punto en que se bloquee la línea de pinturas al no poder almacenar su producto saliente.

## 7.2. Experimento 2

Se plantea a continuación un posible escenario con otro mix de producción totalmente diferente dado que la demanda del mercado haya cambiado en el tiempo. En esta situación se va a plantear que solamente se realicen modelos Transit y Mondeo en partes iguales. Es decir, que el 50% de la producción diaria sea debida a la producción de Transit y el otro 50% de la producción diaria sea de Mondeo. No se producirá ningún vehículo de los modelos Kuga, S-Max y Galaxy en este experimento.

En la tabla 23 se refleja cuál será el nuevo mix de producción según este escenario y cuál será por tanto el volumen de producción diario objetivo para la planta de Almussafes.

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	0%	0
Transit	50%	1065
Mondeo	50%	1065
S-Max	0%	0
Galaxy	0%	0
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 23: Mix de Producción Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 2)**

Se introducen los cambios del mix de producción en el programa SIMIO en las tablas de Volumen de Pinturas y de Volumen de Trim de la misma manera que se ha realizado en el experimento anterior.

El modelo Transit se puede procesar en la planta de pinturas llamada Pinturas2 y en la planta de Trim llamada Trim2 mientras que el modelo Mondeo se procesará en las plantas de Pinturas1 y Trim1. Por tanto, la producción diaria objetivo en cada una de las plantas será la que aparece en la tabla 24.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas1</b>	Transit	0	1065
	Mondeo	1065	
<b>Pinturas2</b>	Transit	1065	1065
	Mondeo	0	
<b>Trim1</b>	Transit	0	1065
	Mondeo	1065	
<b>Trim2</b>	Transit	1065	1065
	Mondeo	0	

**Tabla 24: Producción por Modelos Objetivo Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 2)**

En esta tabla se ve como la producción no se concentra tan solo en una parte de la planta de pinturas y en una parte de la planta de Trim como en el experimento anterior, sino que la producción está repartida entre ambas plantas de pinturas y Trim.

Se introducen estos datos en el modelo de simulación y se realiza una nueva simulación de 24 horas para ver cuál es la reacción del sistema ante esta nueva demanda. Los resultados obtenidos a partir de la simulación son los que se muestran en la tabla 25.

	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Pinturas1</b>	Transit	0	1423
	Mondeo	1423	
<b>Pinturas2</b>	Transit	711	711
	Mondeo	0	
<b>Trim1</b>	Transit	0	1068
	Mondeo	1068	
<b>Trim2</b>	Transit	1068	1068
	Mondeo	0	

**Tabla 25: Producción por Modelos Obtenida Experimento 2 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 2)**

Los datos referentes a la producción diaria total de vehículos realizada en la factoría de Almussafes será considerada como la producción diaria total que se haya realizado en las plantas de Trim, ya que después de estas plantas se produce la salida de material del proceso.

Con los datos obtenidos mediante la simulación se puede comprobar que la producción diaria de cada uno de los modelos en la planta de Trim es ligeramente superior a la producción objetivo que se ha fijado.

Con la propuesta de demanda objetivo de este experimento, a lo largo del día saldrían de la planta 2136 automóviles acabados y el objetivo era de 2130 vehículos por día. Esto quiere decir que según la simulación sí que se puede cumplir con la demanda propuesta en este caso. Además se producirían en este sistema el 100,28% de vehículos respecto al objetivo. Por tanto, se cumple el objetivo de producción propuesto tal y como se ve en la tabla 26.



Modelos	Resultado Simulación Producción (coche/día)	Objetivo Producción (coche/día)	Desviación
Transit	1068	1065	100,28%
Mondeo	1068	1065	100,28%
<b>Total</b>	<b>2136</b>	<b>2130</b>	<b>100,28%</b>

Tabla 26: Resultados Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 2)

En el gráfico de la ilustración 77 se pueden observar los datos de los resultados de la simulación comparados con el objetivo de producción de una forma más visual para el total de los vehículos:

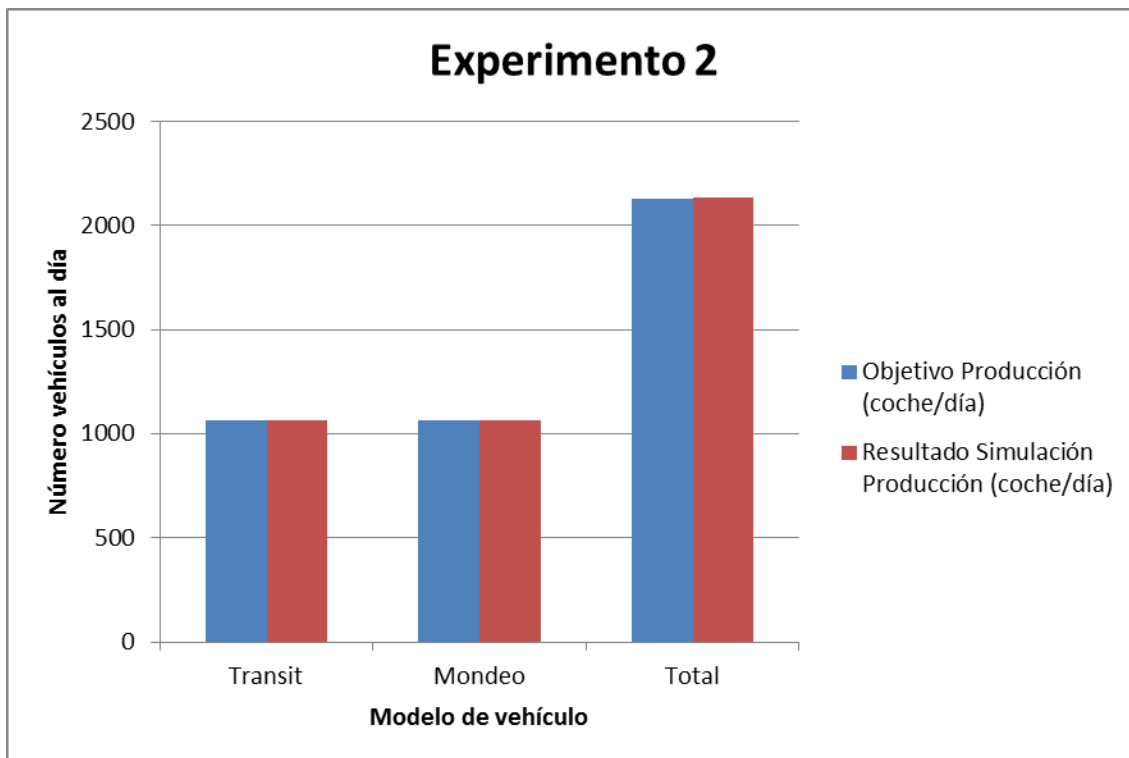


Ilustración 77: Resultados Experimento 2 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 2)

Como conclusión, el sistema de producción propuesto para la Ford dados los datos iniciales sí que cumpliría con el objetivo global de fabricar 2130 vehículos diarios si hubiera un cambio de demanda en el que se fabricaran solo los modelos Transit y Mondeo en la misma proporción.

Se analiza que ocurre con el flujo de producción a lo largo del tiempo para ver si este es continuo o no. para ello se comprueba qué sucederá en el almacén ASRS dada las frecuencias de producción de vehículos en los módulos de Pinturas y de Trim. Se realiza la comparación de estos datos en una gráfica presentada en la ilustración 78.

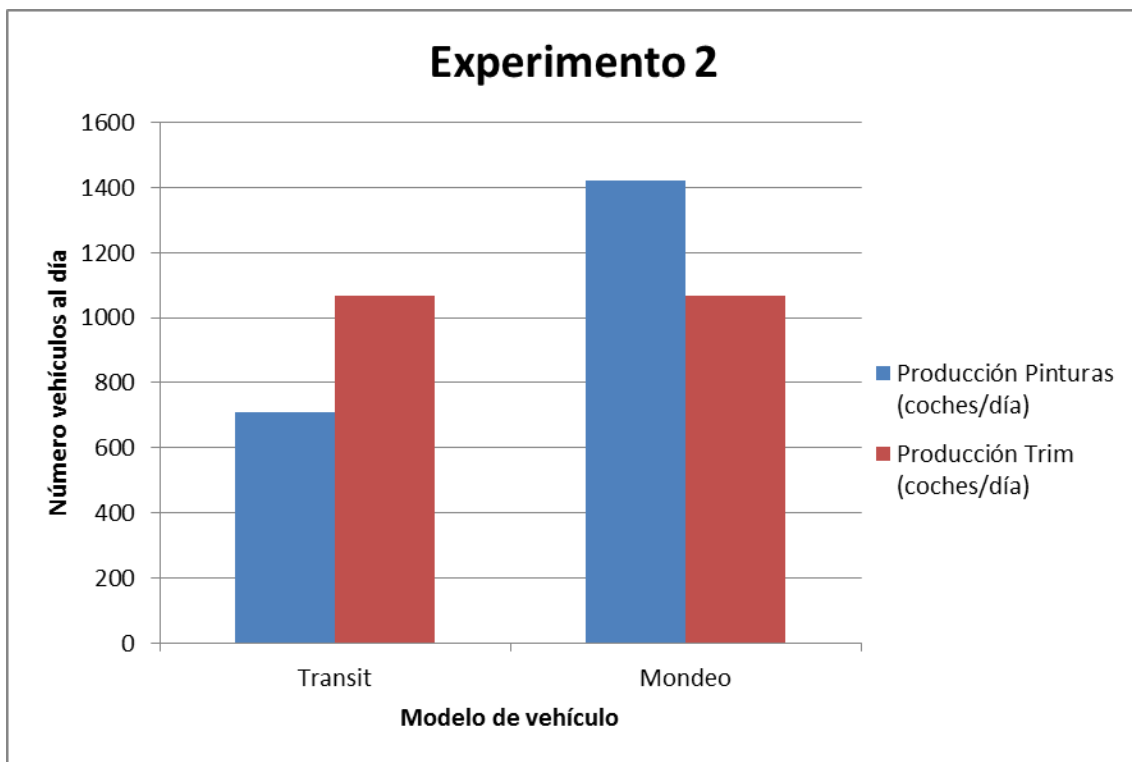


Ilustración 78: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 2 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 2)

Se comprueba en la gráfica que hay menor producción del modelo Transit en el módulo de Pinturas que en el módulo de Trim y esto quiere decir que a lo largo del tiempo, al sacar más vehículos de modelo Transit del almacén de los que están llegando al mismo, se puede producir una rotura de stock bloqueando la línea de Trim.

Por otra parte, hay mayor producción del modelo Mondeo en el módulo de Pinturas que en el módulo de Trim por lo que la frecuencia de llegada de este modelo al almacén ASRS es menor que la frecuencia de salida. Esto provoca que el almacén cada vez tenga más existencias pudiendo llegar a colapsarse y por tanto, bloqueando la línea de pinturas anterior al almacén.

### 7.3. Experimento 3

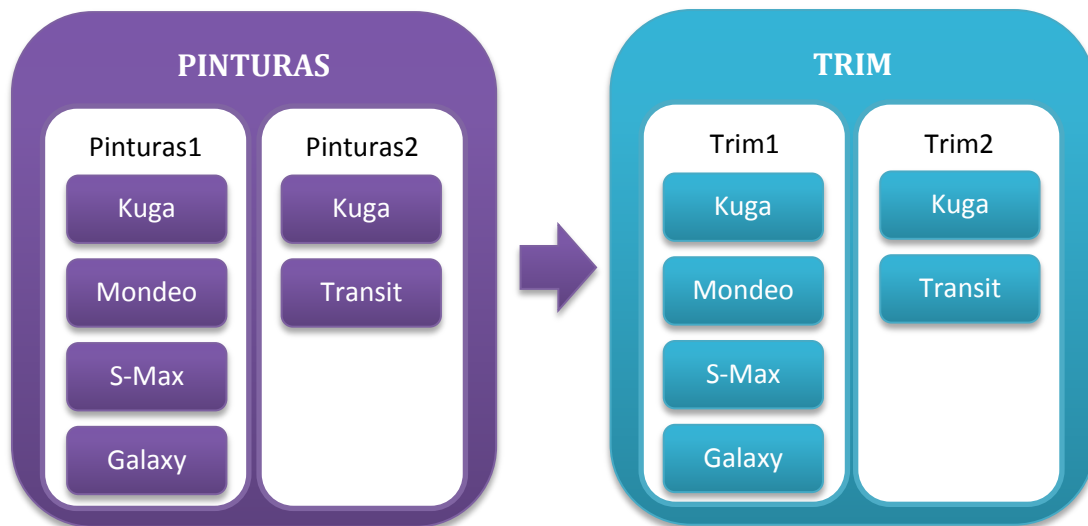
En el tercer caso se va a plantear una nueva situación respecto a la demanda del mercado. En este nuevo mix de producción, el objetivo va a ser fabricar los cinco modelos de vehículos con la misma proporción. Es decir, la producción de cada uno de los modelos representará el 20% de la producción total.

En la tabla 27 se refleja cuál será el nuevo mix de producción según este escenario y cuál será por tanto el volumen de producción diario objetivo para la planta de Almussafes.

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	20%	426
Transit	20%	426
Mondeo	20%	426
S-Max	20%	426
Galaxy	20%	426
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 27: Mix de Producción Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 3)**

En esta nueva propuesta se tiene que tener en cuenta donde se podía procesar cada uno de los modelos de vehículos. Se adjunta a continuación un gráfico donde se refleja la relación entre los modelos y la planta donde se procesan (ver ilustración 79).



**Ilustración 79: Relación Modelo Vehículos y Líneas de Producción Experimento 3 (elaboración propia a partir de datos Ford España)**

En este caso se tiene además en cuenta que al poder procesarse el modelo Kuga en ambas plantas de pinturas y en ambas plantas de Trim, se ajustará su producción a cada una de ellas dependiendo de la capacidad de las plantas.

Como ejemplo del reparto de producción del modelo Kuga se puede explicar el caso de pinturas. Gracias a la aportación de datos de la empresa Ford a este proyecto se conoce que la capacidad de producción de la planta Pinturas1 es igual a 1420 vehículos al día mientras que la capacidad de producción de la planta de Pinturas2 es de 710 vehículos al día. Si se producen 142 vehículos Kuga en Pinturas1 y 284 vehículos Kuga en Pinturas 2, se llega a cubrir la capacidad de cada una de las plantas sin excederla.

En la tabla 28 aparecen dichos datos de mix de producción que se introducirán en el programa de simulación SIMIO:

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	142	1420
	Transit	0	
	Mondeo	426	
	S-Max	426	
	Galaxy	426	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	284	710
	Transit	426	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1278
	Transit	0	
	Mondeo	426	
	S-Max	426	
	Galaxy	426	
<b>Trim2</b>	Kuga	426	852
	Transit	426	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 28: Producción por Modelos Objetivo Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 3)**

Los datos referentes a la producción diaria total de vehículos realizada en la factoría de Almussafes será considerada como la producción diaria total que se haya realizado en las plantas de Trim, ya que después de estas plantas se produce la salida de material del proceso.

Se introducen estos datos en el modelo de simulación y se realiza una nueva simulación de 24 horas para ver cuál es la reacción del sistema ante esta nueva demanda. Los resultados obtenidos a partir de la simulación han sido los que aparecen en la tabla 29.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	142	1423
	Transit	0	
	Mondeo	427	
	S-Max	427	
	Galaxy	427	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	284	711
	Transit	427	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1068
	Transit	0	
	Mondeo	356	
	S-Max	356	
	Galaxy	356	
<b>Trim2</b>	Kuga	534	1068
	Transit	534	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 29: Producción por Modelos Obtenida Experimento 3 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 3)**

Con los datos obtenidos mediante la simulación (tabla 29) se puede comprobar que la producción diaria de cada uno de los modelos en la planta de Trim es superior al objetivo en la planta Trim 2 e inferior al objetivo en la planta Trim1. Esto se debe a que a la planta Trim1 se le ha asignado más trabajo del que puede realizar en un día y a la planta Trim2 le ha ocurrido lo contrario.

Con la propuesta de demanda objetivo de este experimento, a lo largo del día saldrían de la planta 2136 automóviles acabados y el objetivo era de 2130 vehículos por día. Esto quiere decir que según la simulación sí que se puede cumplir con la demanda global propuesta en este caso. Además se producirían en este sistema el 100,28% de vehículos respecto al objetivo. Por tanto, se cumple el objetivo de producción global propuesto.

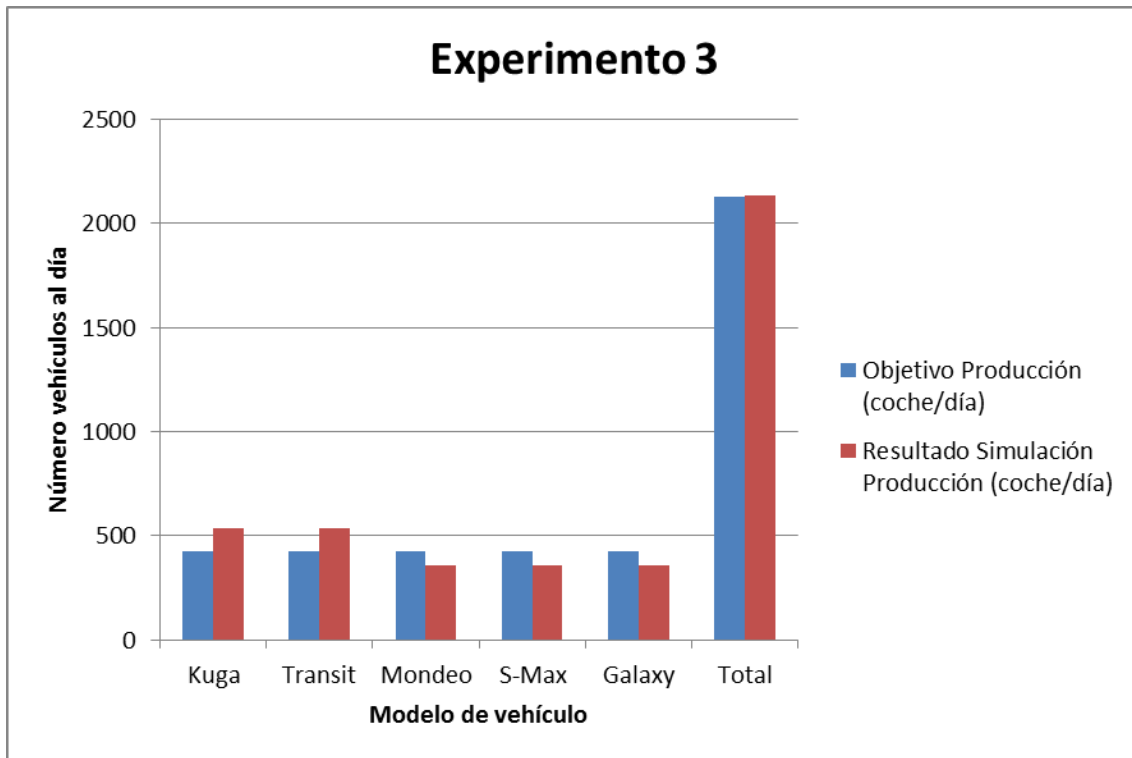
En cambio, si se busca en más detalle cuales han sido los datos de producción, se puede ver en la tabla 30 como algunos de los modelos han tenido más producción de la que se pretendía mientras que otros no llegan al objetivo.

<b>Modelos</b>	<b>Resultado Simulación Producción (coche/día)</b>	<b>Objetivo Producción (coche/día)</b>	<b>Desviación</b>
Kuga	534	426	125%
Transit	534	426	125%
Mondeo	356	426	84%
S-Max	356	426	84%
Galaxy	356	426	84%
<b>Total</b>	2136	2130	100,28%

**Tabla 30: Resultados Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 3)**



En el gráfico que aparece en la ilustración 80 se pueden observar los datos de los resultados de la simulación comparados con el objetivo de producción de una forma más visual para el total de los vehículos:

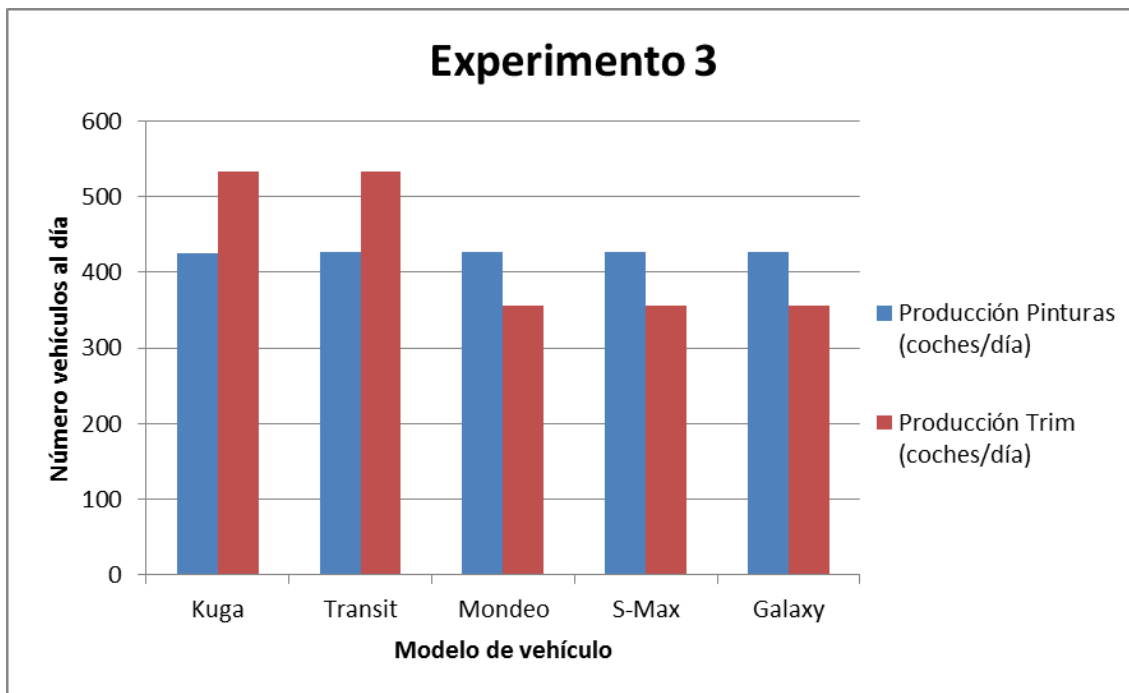


**Ilustración 80: Resultados Experimento 3 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 3)**

Para posibles líneas de investigación futuras se podría plantear buscar qué rangos de mix de producción siguen cumpliendo con el objetivo global de producción (fabricar 2130 vehículos al día) pero que cumplan también con los objetivos por modelos (el número de vehículos de cada modelo que hay que fabricar).

Como conclusión, el sistema de producción propuesto para la Ford dados los datos iniciales sí que cumpliría con el objetivo de producción global si hubiera un cambio de demanda en el que se fabricaran los cinco modelos en la misma proporción. En cambio, no cumpliría con el objetivo de producción de cada uno de esos modelos.

En este caso, también se podría investigar qué ocurriría con el flujo de producción en el caso de que el almacén Automatic Storage Retrieval System (ASRS) no estuviera lleno. Para ello se compara a continuación por medio de una gráfica la diferencia entre la producción de los módulos de pinturas y Trim.



**Ilustración 81: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 3 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 3)**

Se ve en la ilustración 81 más claramente como en los dos primeros modelos de vehículos se produce menos en el módulo de pinturas que en Trim y en cambio, en el resto de modelos se produce más en el módulo de pinturas que en Trim.

Como conclusiones de este gráfico, se obtiene que en el caso de los modelos Kuga y Transit se puedan producir roturas de stock en el almacén ASRS que pueden tener repercusiones importantes en la producción global. En cambio no se puede presentar un problema de rotura de stock en el caso de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy ya que se produce más cantidad en pinturas que lo que se consume en Trim. El problema que se puede presentar en el caso de estos tres modelos es que el almacén cada vez esté más lleno de esos modelos, lo cual puede producir que parte de la planta se quede bloqueada sin poder producir por no tener lugar donde almacenar su producto.

Para ver si realmente se producirían o no estos problemas se tendrían que realizar un estudio más detallado de los almacenes, lo cual queda fuera del objeto de este proyecto.

## 7.4. Experimento 4

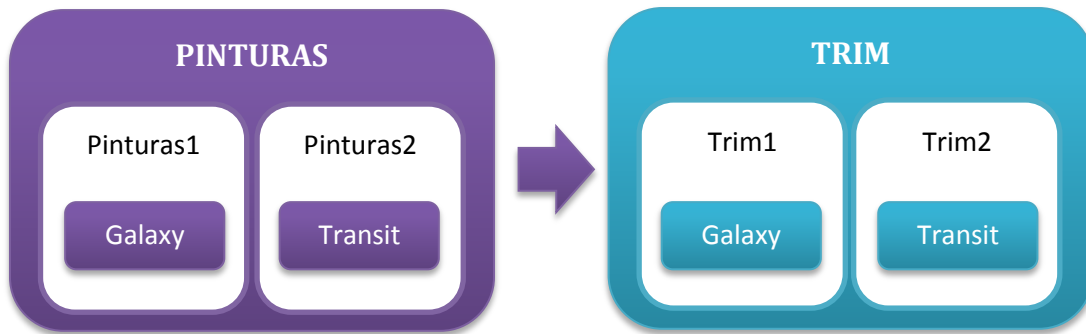
¿Qué sucedería en el caso de que la demanda cambiara de forma en que solo se produjeran en la planta de Almussafes los modelos Transit y Galaxy en la misma proporción? El experimento 4 tratará de responder a esta pregunta. El objetivo será por tanto que la producción se divida en un 50% para el modelo Transit y el otro 50% para el modelo Galaxy.

En la tabla 31 se muestra como sería el nuevo mix de producción y por tanto, cuál será la cantidad total de vehículos de cada modelo a fabricar a lo largo de un día en la planta de producción.

Modelo	Mix producción	Volumen producción diario (coches/día)
Kuga	0%	0
Transit	50%	1065
Mondeo	0%	0
S-Max	0%	0
Galaxy	50%	1065
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 31: Mix de Producción Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 4)**

Cabe destacar que los modelos Transit tan solo se producen en la planta de pinturas llamada Pinturas2 y en la planta de Trim llamada Trim2, mientras que el modelo Galaxy se produce en la planta de pinturas denominada Pinturas1 y en la planta de Trim llamada Trim1. Esta relación entre los diferentes modelos y la planta de producción en la que se procesan aparece en la ilustración 82.



**Ilustración 82: Relación Modelo Vehículos y Líneas de Producción Experimento 4 (elaboración propia a partir de datos Ford España)**

El nivel de producción en cada una de las líneas de producción que se quiere alcanzar con este nuevo patrón de demanda son los reflejados en la tabla 32.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Transit	0	1065
	Galaxy	1065	
<b>Pinturas 2</b>	Transit	1065	1065
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Transit	0	1065
	Galaxy	1065	
<b>Trim2</b>	Transit	1065	1065
	Galaxy	0	

**Tabla 32: Producción por Modelos Objetivo Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 4)**

Los datos que se han mostrado en esta tabla son los que se van a introducir en el modelo de simulación como volumen que se ha de producir en cada una de las líneas de pinturas y Trim. Se realiza con esos datos una simulación de 24 horas de duración para ver cómo se comporta el modelo y si cumple o no el objetivo de producción.

Se considera que el objetivo de producción de la Planta de Almussafes se cumple siempre que el módulo de Trim cumpla con el objetivo. Esto es así porque después del módulo de Trim ya se considera que se produce la salida del vehículo.

Los datos obtenidos tras realizar la simulación han sido los reflejados en la tabla 33.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas1</b>	Transit	0	1076
	Galaxy	1076	
<b>Pinturas2</b>	Transit	711	711
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Transit	0	1068
	Galaxy	1068	
<b>Trim2</b>	Transit	1068	1068
	Galaxy	0	

**Tabla 33: Producción por Modelos Obtenida Experimento 4 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 4)**

Tras analizar la tabla se ve que efectivamente, el objetivo global se cumple dado que se producen más de 1065 vehículos de ambos modelos en el módulo de producción de Trim. La producción objetivo total era igual a 2130 vehículos y con la simulación se ha conseguido producir en un solo día 2136 vehículos. Por tanto se está cumpliendo el 100,28% de la producción objetivo.

Se reflejan en la tabla 34 los datos más desglosados del objetivo de producción y de la producción obtenida en cada una de las líneas de producción.

Modelos	Resultado Simulación Producción (coche/día)	Objetivo Producción (coche/día)	Desviación
Transit	1068	1065	100,28%
Galaxy	1068	1065	100,28%
<b>Total</b>	<b>2136</b>	<b>2130</b>	<b>100,28%</b>

Tabla 34: Resultados Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 4)

Se presenta a continuación una gráfica (ilustración 83) donde se muestra la producción objetivo global de cada uno de los modelos a lo largo de un día y cuál ha sido la producción global obtenida por medio de la simulación. De esta manera se puede ver más visualmente que la producción simulada ha superado el objetivo.

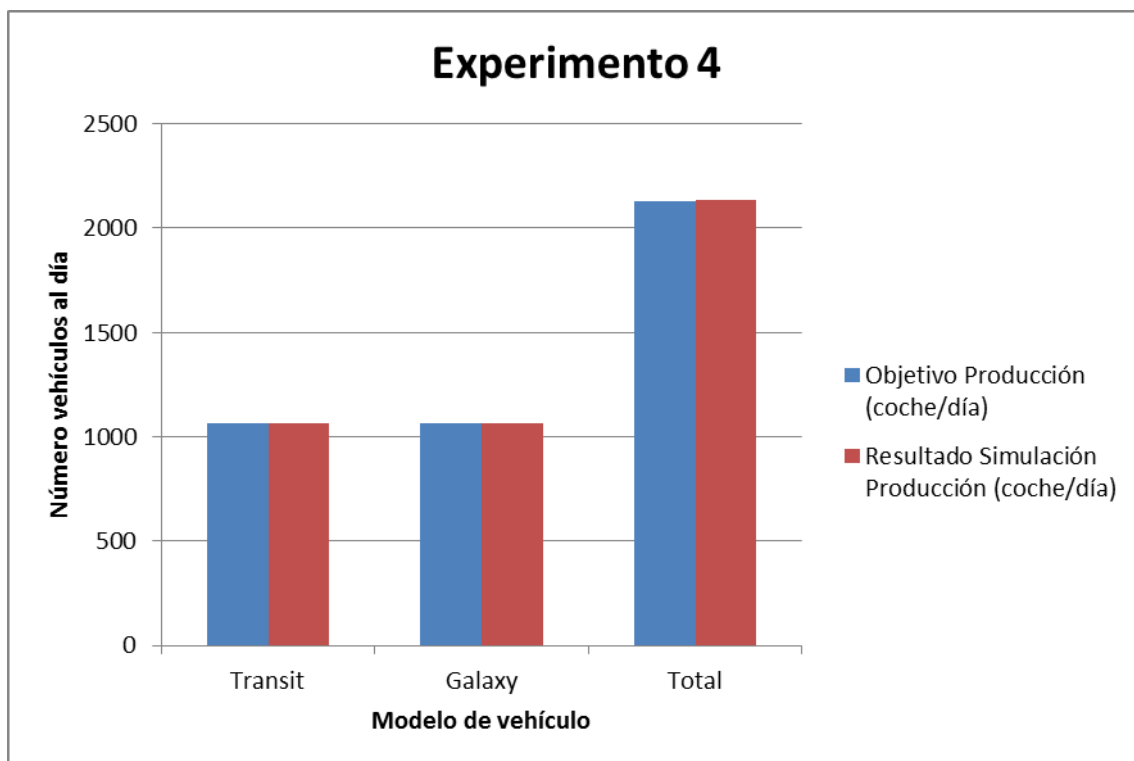


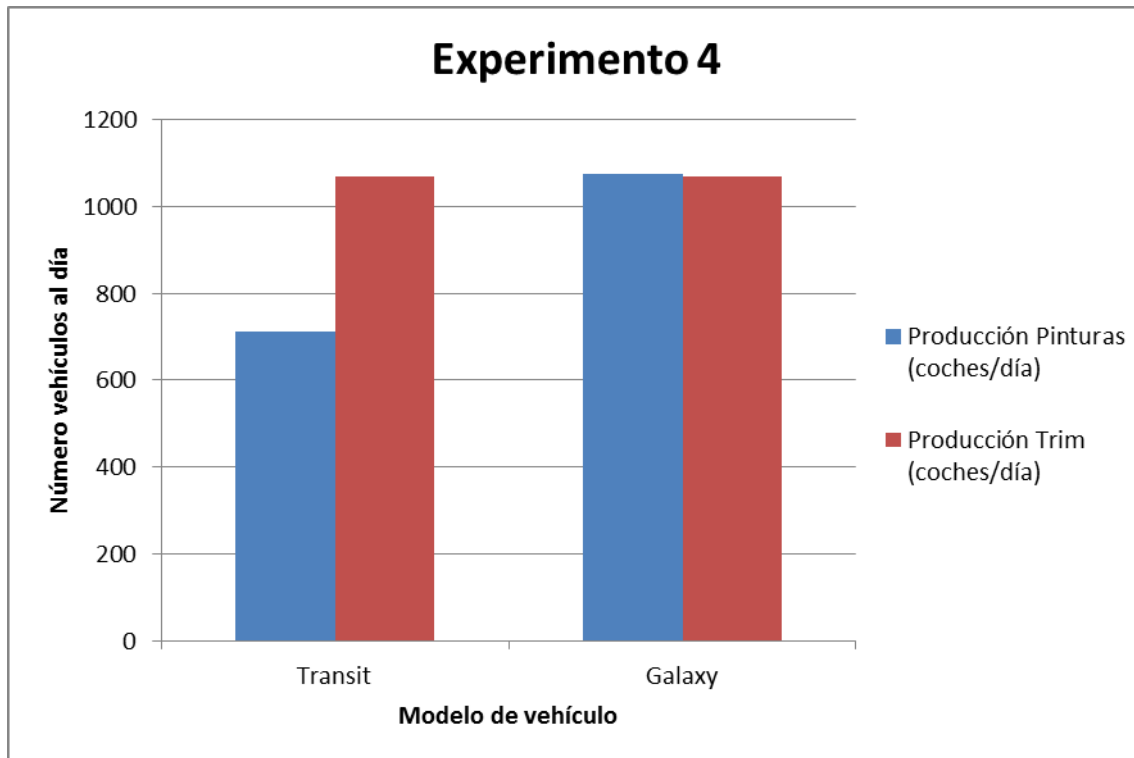
Ilustración 83: Resultados Experimento 4 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 4)

Tras este estudio se observa que en caso de que sucediera un cambio de demanda en el cual solo se tuviera que producir modelos Transit y Galaxy en la misma producción sí que se podría cumplir con la demanda y se llegaría a fabricar incluso un poco más de lo requerido.

Estos resultados serían positivos siempre y cuando se mantuviera la suposición inicial de que los almacenes de ASRS y de BIW tienen material. En cambio, para posibles líneas de investigación futuras se debería plantear que pasaría si estos almacenes no tuvieran material para abastecer al módulo de pinturas y de Trim.

Si se realiza una comparación rápida de la cantidad de vehículos que se están fabricando en el módulo de pinturas y en el módulo de Trim se observar que en caso de que los almacenes no tengan material, se pueden producir problemas con el flujo de producción de la planta de Almussafes. En la gráfica de la ilustración 84 se puede observar la diferencia entre la producción de ambos módulos.





**Ilustración 84: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 4 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 4)**

En el caso del modelo Transit se observa que se produce menor cantidad en el módulo de pinturas que en el módulo de Trim. Esto puede ocasionar, tal y como se ha explicado en el experimento anterior (Experimento 3) que se produzcan roturas de stock en el almacén intermedio entre ambos módulos y que por tanto, la planta de Trim no pueda seguir produciendo vehículos. Si esto sucediera, no se cumpliría la producción global requerida de este modelo.

En cambio, en el caso del modelo Galaxy se produce prácticamente la misma cantidad de vehículos en ambos módulos a lo largo del día. Por lo tanto no se debería presentar ningún problema que afectara al flujo de producción o a la cantidad total de coches producidos a lo largo de un día.

## 7.5. Experimento 5

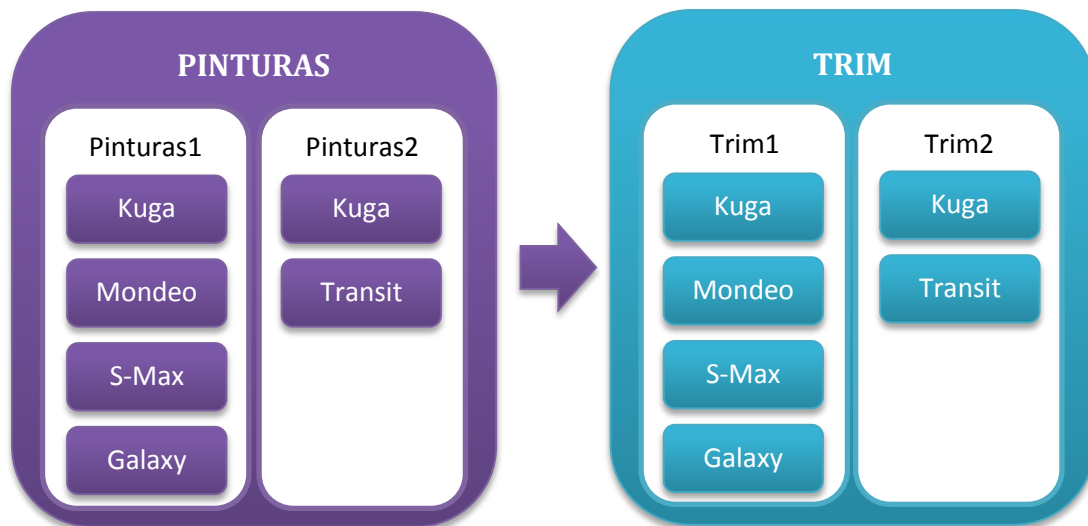
¿Qué sucedería si la mitad de la demanda fuera de vehículos modelo Kuga mientras que el resto de la demanda se repartiera entre los cuatro modelos restantes? Esta es la pregunta que se va a tratar de resolver con la simulación del experimento 5.

El mix de producción y la cantidad de vehículos de cada modelo a producir a lo largo de un día para este caso cambiaría tal y como se refleja en la tabla 35.

Modelo	Mix producción	Volumen producción diario (coches/día)
Kuga	50%	1065
Transit	13%	266
Mondeo	13%	266
S-Max	13%	266
Galaxy	13%	266
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 35: Mix de Producción Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 5)**

En este caso se producen todos los modelos, por lo que se utilizarán ambas líneas de producción tanto del módulo de Pinturas como del módulo de Trim. Se recuerda a continuación mediante la ilustración 85 cuál era la relación entre cada uno de los modelos de vehículos y las líneas de producción en las que se pueden procesar cada uno de ellos.



**Ilustración 85: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 5 (elaboración propia a partir de datos Ford España)**

Según el mix de producción y una vez conocido donde se procesa cada uno de los modelos, se puede saber cuáles van a ser los datos de producción objetivo a cumplir por la planta de Almussafes a lo largo de un día. Los datos del nivel de producción a cumplir en cada una de las líneas es el que aparece en la tabla 36.

Al repartir el 50% de la producción entre cuatro modelos se obtiene un resultado de que cada uno de los modelos tendría el 12,5% de la producción. Eso conlleva fabricar 266,25 vehículos de cada uno de esos modelos a lo largo del día. Como los vehículos son productos indivisibles se toma una decisión. La decisión es asignar una producción de 266 vehículos diarios a los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy y asignar una producción de 267 vehículos diarios al modelo Transit. De esta manera se obtiene el total de 2130 vehículos diarios que es el objetivo del proyecto impuesto por la compañía Ford España.

Por otra parte, el reparto de la cantidad de vehículos Kuga a procesar en cada una de las líneas de Pinturas o de Trim se realiza en función de la capacidad de dichas líneas.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	622	1420
	Transit	0	
	Mondeo	266	
	S-Max	266	
	Galaxy	266	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	443	710
	Transit	267	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	267	1065
	Transit	0	
	Mondeo	266	
	S-Max	266	
	Galaxy	266	
<b>Trim2</b>	Kuga	798	1065
	Transit	267	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 36: Producción por Modelos Objetivo Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 5)**

Los datos de esta tabla se introducen en el programa de simulación SIMIO y se realiza una simulación con una duración de 24 horas para ver cuál es el comportamiento del modelo y si se cumplen los objetivos de producción.

Se considera que el objetivo de producción de la Planta de Almussafes se cumple siempre que el módulo de Trim cumpla con el objetivo. Esto es así porque después del módulo de Trim ya se considera que se produce la salida del vehículo.

Los resultados obtenidos tras realizar la simulación son los que aparecen en la tabla 37.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	622	1423
	Transit	0	
	Mondeo	267	
	S-Max	267	
	Galaxy	267	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	443	711
	Transit	268	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	267	1068
	Transit	0	
	Mondeo	267	
	S-Max	267	
	Galaxy	267	
<b>Trim2</b>	Kuga	800	1068
	Transit	268	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

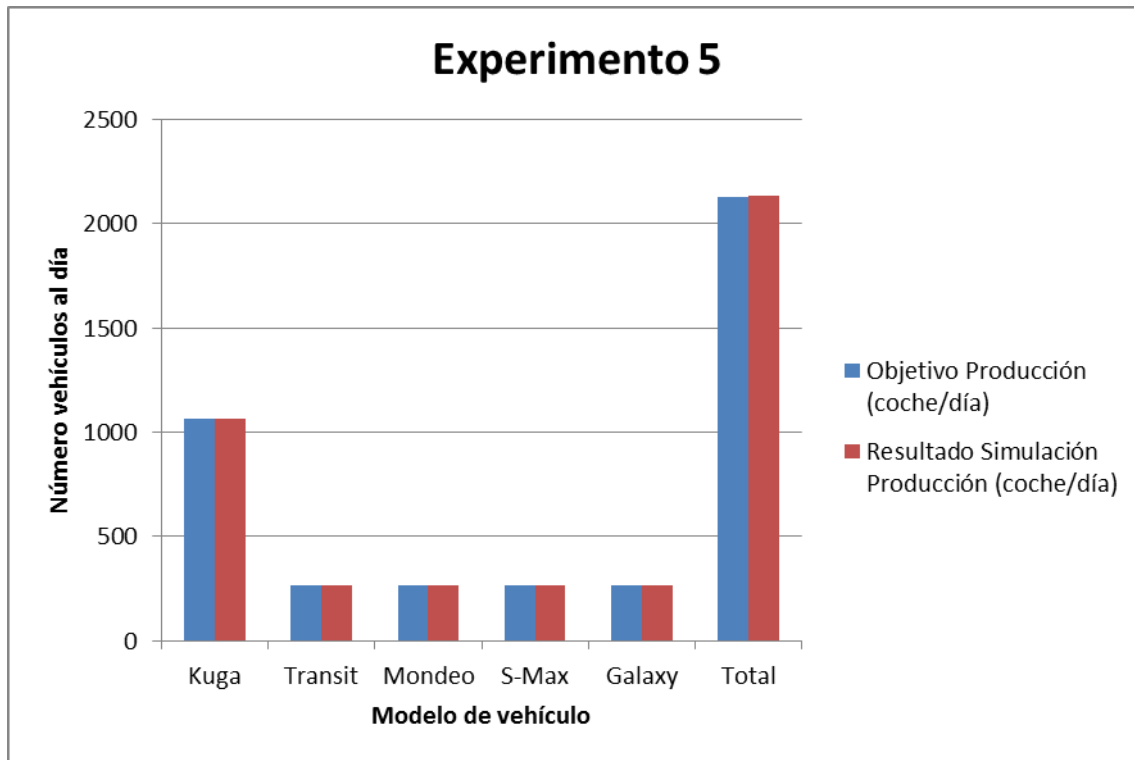
**Tabla 37: Producción por Modelos Obtenida Experimento 5 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 5)**

Tras analizar la tabla se puede ver que el objetivo de producción global se cumple, ya que la suma de los vehículos totales realizados en el módulo de Trim es igual a 2136 vehículos mientras que la producción objetivo total era igual a 2130 vehículos. Por tanto se está cumpliendo el 100,28% de la producción objetivo. Estos datos se pueden entender de mejor manera si se observa la tabla 38 donde aparecen los datos más desglosados con las producciones de cada uno de los modelos.

<b>Modelos</b>	<b>Resultado Simulación Producción (coche/día)</b>	<b>Objetivo Producción (coche/día)</b>	<b>Desviación</b>
Kuga	1067	1065	100,19%
Transit	268	267	100,37%
Mondeo	267	266	100,38%
S-Max	267	266	100,38%
Galaxy	267	266	100,38%
<b>Total</b>	2136	2130	100,28%

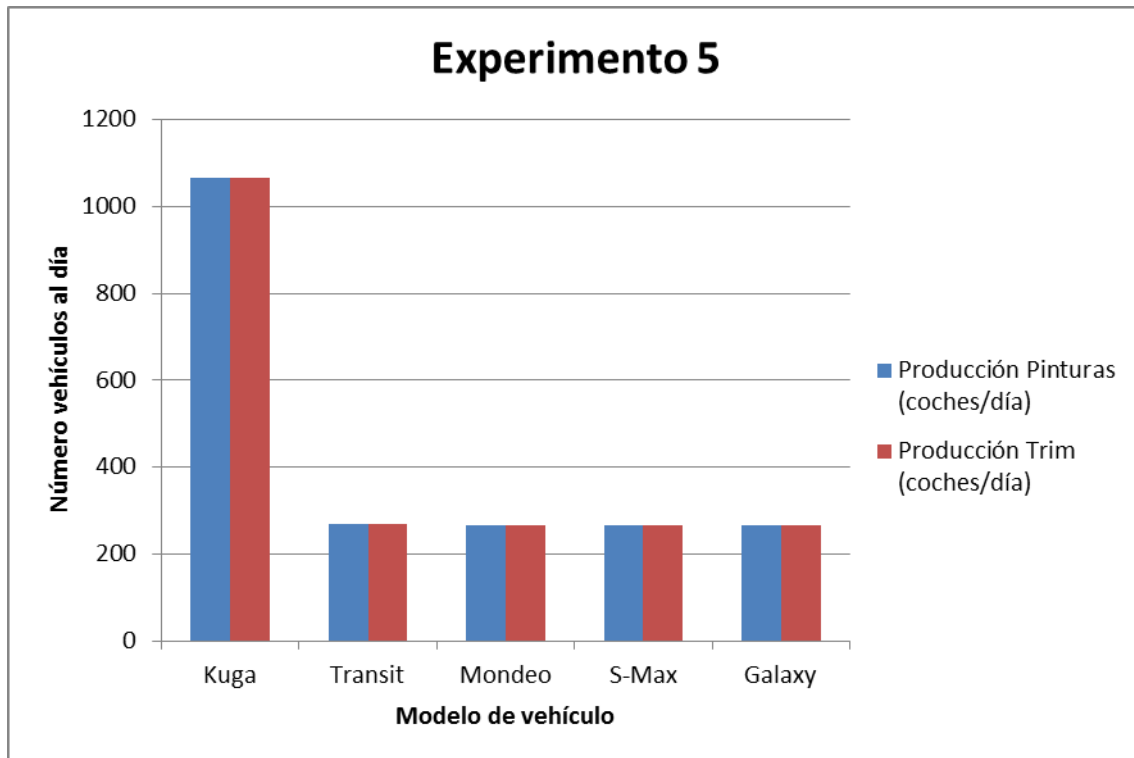
**Tabla 38: Resultados Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 5)**

Se presenta a continuación una gráfica (ilustración 86) donde se muestra la producción objetivo global de cada uno de los modelos a lo largo de un día y cuál ha sido la producción global obtenida por medio de la simulación. De esta manera se puede ver más visualmente que la producción simulada ha superado el objetivo.



**Ilustración 86: Resultados Experimento 5 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 5)**

Tras este estudio se observa claramente que en cambio de que la demanda cambiara a la propuesta en este experimento, la planta de producción de Almussafes podría cumplir con la misma sin ningún tipo de problema. Con este gráfico se ve que el resultado de la simulación es muy similar al objetivo, pero de todas maneras, se realiza también el gráfico de comparación entre la producción de Pinturas y la producción de Trim para ver si el flujo de producción será continuo.



**Ilustración 87: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 5 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 5)**

Como se puede comprobar en la gráfica de la ilustración 87, la producción diaria de cada uno de los modelos en el módulo de Pinturas y de Trim es bastante similar con lo que no se producirán problemas en el flujo del proceso, ni se prevén problemas en el almacén como una rotura de stock o un llenado de almacén.



## 7.6. Experimento 6

En este caso se plantea qué ocurriría en el supuesto de que la mitad de la demanda fuera del modelo Transit y que el resto de la demanda se repartiera entre los otros cuatro modelos. Se trata de averiguar si se podría abastecer esa demanda con la configuración actual de la planta de Almussafes.

El mix de producción y la cantidad de vehículos de cada modelo a producir diariamente con esta nueva demanda sería la siguiente (ver tabla 39).

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	12,5%	266
Transit	50,0%	1065
Mondeo	12,5%	266
S-Max	12,5%	266
Galaxy	12,5%	266
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 39: Mix de Producción Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 6)**

Para la realización de este experimento también se van a utilizar todas las líneas de producción de los módulos de Pinturas y de Trim. La relación entre cada uno de los modelos de vehículos y las líneas de producción en las que se pueden procesar cada uno de ellos aparece en la ilustración 85 que se encuentra en el apartado 7.5 de este documento.

Tal y como sucedía con el experimento 5, el resultado de los vehículos que hay que realizar de los modelos Kuga, Mondeo, S-Max y Galaxy es igual a 266,25 vehículos al día. Dado que los vehículos son indivisibles y que la producción de los mismos tampoco se puede dejar a medias al ser un flujo continuo de producción se decide asignar una fabricación de 267 vehículos al modelo Mondeo, y una producción de 266 vehículos a los modelos Kuga, Mondeo y S-Max. Los datos de producción de cada una de las líneas por cada modelo son por tanto los que aparecen a continuación en la tabla 40.

	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	266	1065
	Transit	0	
	Mondeo	267	
	S-Max	266	
	Galaxy	266	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	0	1065
	Transit	1065	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	266	1065
	Transit	0	
	Mondeo	267	
	S-Max	266	
	Galaxy	266	
<b>Trim2</b>	Kuga	0	1065
	Transit	1065	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 40: Producción por Modelos Objetivo Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 6)**

Los datos de esta tabla se introducen en el programa de simulación SIMIO y se realiza una simulación con una duración de 24 horas para ver cuál es el comportamiento del modelo y si se cumplen los objetivos de producción.

Se considera que el objetivo de producción de la Planta de Almussafes se cumple siempre que el módulo de Trim cumpla con el objetivo. Esto es así porque después del módulo de Trim ya se considera que se produce la salida del vehículo.

Los resultados obtenidos tras realizar la simulación son los que aparecen en la tabla 41.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	355	1423
	Transit	0	
	Mondeo	357	
	S-Max	355	
	Galaxy	356	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	0	711
	Transit	711	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	266	1068
	Transit	0	
	Mondeo	268	
	S-Max	267	
	Galaxy	267	
<b>Trim2</b>	Kuga	0	1068
	Transit	1068	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 41: Producción por Modelos Obtenida Experimento 6 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 6)**

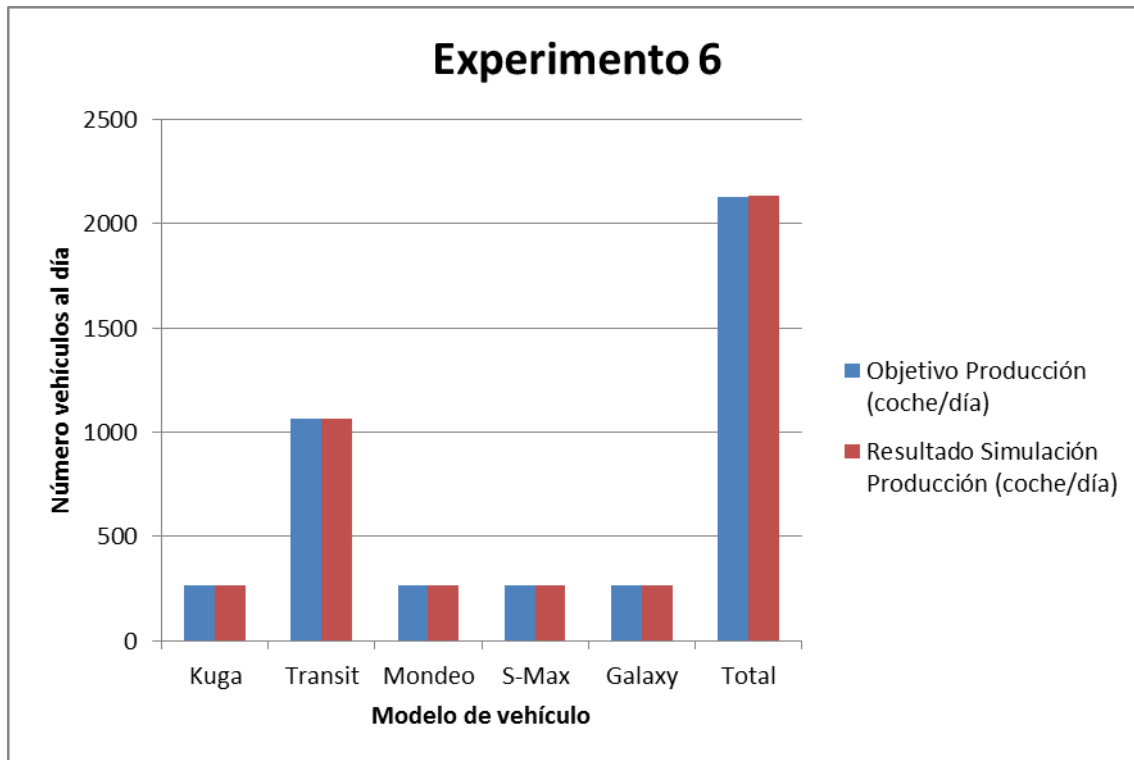
Se compara a continuación los valores objetivos de producción con los valores obtenidos a partir de la simulación para ver si se cumple o no con el objetivo. Esta comparación aparece en la tabla 42 donde se ven estos datos por cada uno de los modelos.

<b>Modelos</b>	<b>Resultado Simulación Producción (coche/día)</b>	<b>Objetivo Producción (coche/día)</b>	<b>Desviación</b>
Kuga	266	266	100,00%
Transit	1068	1065	100,28%
Mondeo	268	267	100,37%
S-Max	267	266	100,38%
Galaxy	267	266	100,38%
<b>Total</b>	<b>2136</b>	<b>2130</b>	<b>100,28%</b>

**Tabla 42: Resultados Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 6)**

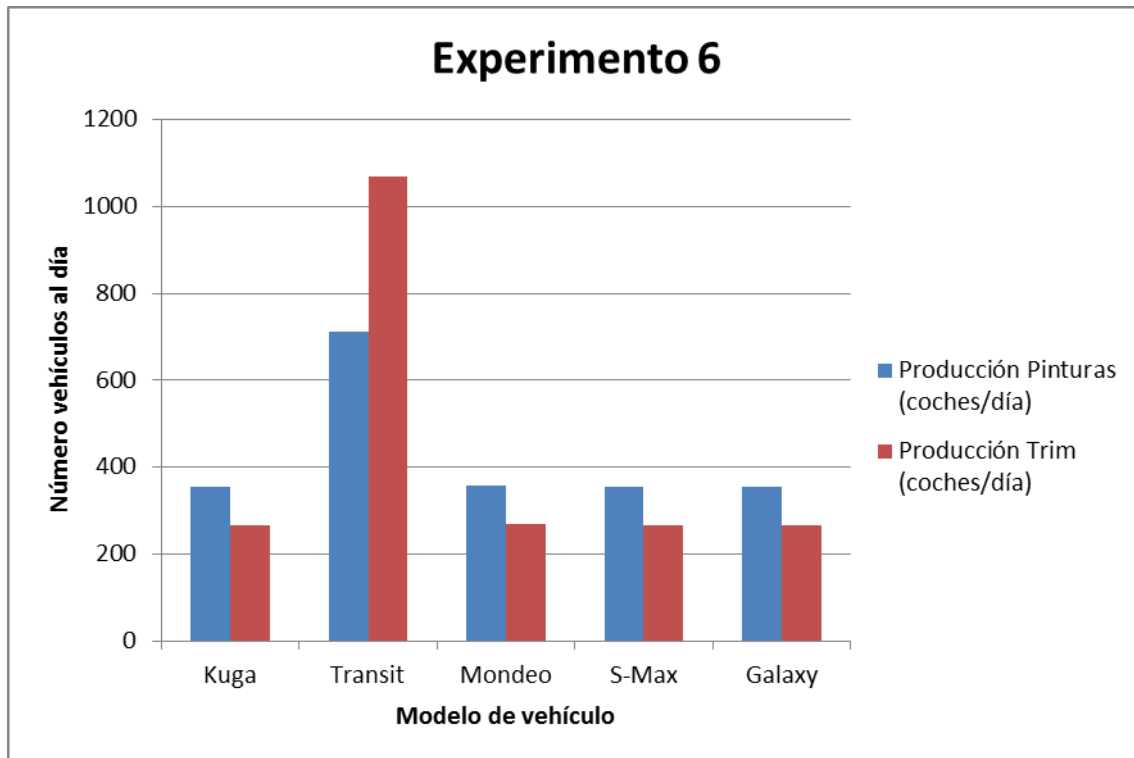
Según la tabla 42 se ve como se ha cumplido el objetivo de producción dado que la producción objetivo era de 2130 vehículos en un día y se han llegado a producir 2136 vehículos por medio de la simulación. Además, si se observa independientemente cada uno de los modelos también se cumplen los objetivos de producción establecidos.

Se presenta en la ilustración 88 una gráfica donde se muestra la producción objetivo global diaria de cada uno de los modelos y cuál ha sido la producción global obtenida por medio de la simulación en un día. De esta manera se puede ver más visualmente que la producción simulada ha superado el objetivo.



**Ilustración 88: Resultados Experimento 6 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 6)**

Tras este estudio se observa claramente que si la demanda cambiara y a partir de ese momento fuera la mitad para Transit, y 12,5% de la demanda para cada uno del resto de los modelos, la planta de producción de Almussafes podría cumplir con la misma sin ningún tipo de problema. Con este gráfico se ve que el resultado de la simulación es muy similar al objetivo, pero de todas maneras, se realiza también el gráfico de comparación entre la producción de Pinturas y la producción de Trim para ver si el flujo de producción será continuo (ver ilustración 89).



**Ilustración 89: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 6 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 6)**

Al analizar la producción de cada uno de los modelos en la ilustración 102 se puede observar que la producción del modelo Transit en pinturas es bastante inferior a su producción en Trim. Esto quiere decir que se puede producir una rotura de Stock en el almacén ASRS que se sitúa entre varias líneas con lo cual podría interrumpir el flujo de producción e impedir que se cumpla con el objetivo de producción.

Por otra parte, también puede haber un problema en los almacenes dado el flujo de producción de los otros cuatro modelos (Kuga, Mondeo, S-Max y Galaxy). El problema con estos modelos es que se produce más vehículos en pinturas de los que posteriormente se consume en la línea de Trim. Esto puede provocar que a lo largo del tiempo el nivel de stock de estos modelos aumente en el almacén ASRS y puede llegar a colapsar el flujo de producción.

### 7.7. Experimento 7

En este experimento se va a comprobar cómo reaccionaría el sistema ante una situación en que la demanda de los diferentes modelos cambie de manera que la mitad de la demanda sea de vehículos modelo Mondeo y que el resto de la demanda esté repartida entre los modelos Kuga, Transit, S-Max y Galaxy. La cantidad de vehículos que se han de producir por tanto a lo largo del día de cada uno de los modelos es la que aparece en la tabla 43.

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	12,5%	266
Transit	12,5%	266
Mondeo	50,0%	1065
S-Max	12,5%	266
Galaxy	12,5%	266
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2130</b>

**Tabla 43: Mix de Producción Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 7)**

En este caso se realiza producción de los cinco modelos de vehículos por lo que estarán activas y realizando fabricación las dos líneas de Pinturas y las dos líneas de Trim.

El nivel de producción objetivo de cada uno de los modelos para las líneas de Pinturas y las líneas de Trim serán los reflejados en la tabla 44. Nótese que en este experimento todos los vehículos correspondientes al modelo Kuga se producirán en Pinturas2 y en Trim2. Esta decisión se ha tomado dada la capacidad de producción que tiene cada una de las líneas de pinturas y de Trim.



	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	0	1597
	Transit	0	
	Mondeo	1065	
	S-Max	266	
	Galaxy	266	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	267	533
	Transit	266	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1597
	Transit	0	
	Mondeo	1065	
	S-Max	266	
	Galaxy	266	
<b>Trim2</b>	Kuga	267	533
	Transit	266	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 44: Producción por Modelos Objetivo Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 7)**

Estos son los datos que por tanto se introducen en el programa de simulación y también es la producción que se debe de alcanzar para poder cubrir la nueva demanda. Tras introducir estos datos en SIMIO se realizará una simulación con la duración de 24 horas y se estudiará el comportamiento del sistema ante esta nueva demanda para poder sacar conclusiones.

Al realizar la simulación se obtiene los siguientes resultados reflejados en la tabla 45, los cuales serán caso de estudio a continuación.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	0	1423
	Transit	0	
	Mondeo	949	
	S-Max	237	
	Galaxy	237	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	356	711
	Transit	355	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1068
	Transit	0	
	Mondeo	712	
	S-Max	178	
	Galaxy	178	
<b>Trim2</b>	Kuga	535	1070
	Transit	535	
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 45: Producción por Modelos Obtenida Experimento 7 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 7)**

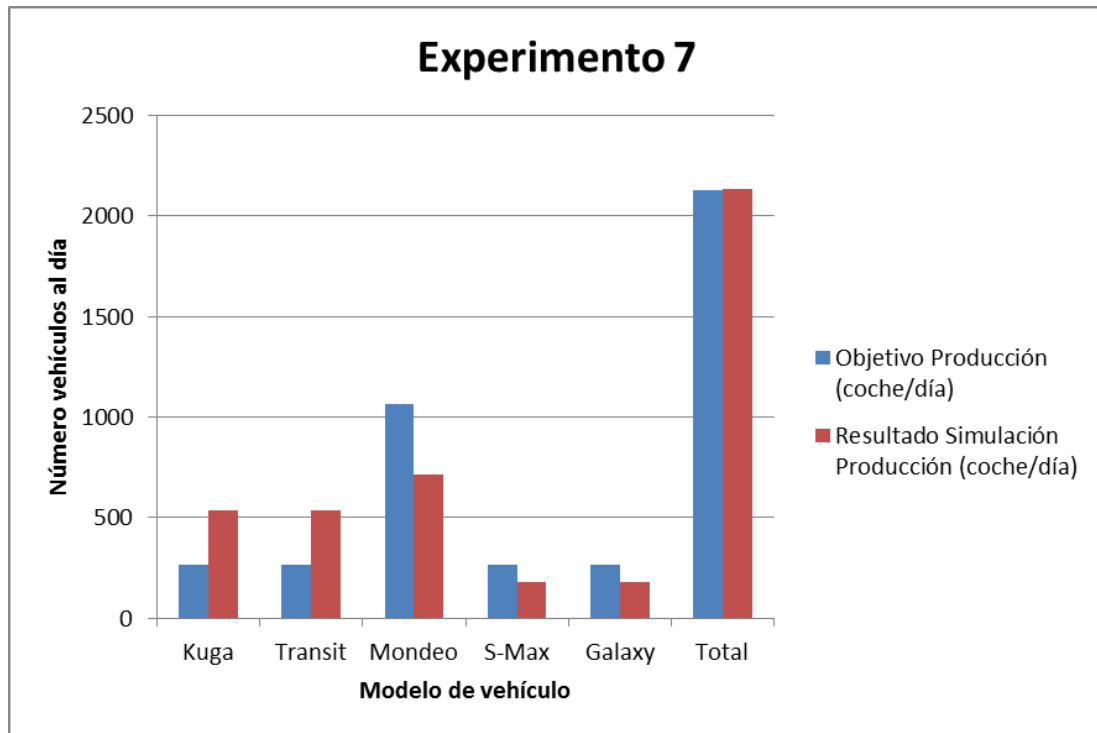
Si sumamos el número total de vehículos fabricados en las dos plantas de Trim se observa que se fabrican a lo largo del día más de 2130 vehículos. Con lo cual, el objetivo global de este experimento sí que se estaría cumpliendo. Se toma como referencia los resultados del módulo de Trim para hacer la comparación ya que las líneas de Trim se consideran como el fin de este proceso.

A continuación analizamos los resultados con un mayor detalle al distinguir entre los resultados y los objetivos de cada uno de los modelos de vehículos en vez de considerar el resultado global de producción. En la tabla 46 aparece cuál debería ser la cantidad de producción para cumplir con la demanda de cada uno de los modelos y también el resultado de producción obtenido para cada uno de estos modelos en la simulación.

<b>Modelos</b>	<b>Resultado Simulación Producción (coche/día)</b>	<b>Objetivo Producción (coche/día)</b>	<b>Desviación</b>
Kuga	535	267	200,37%
Transit	535	266	201,13%
Mondeo	712	1065	66,85%
S-Max	178	266	66,92%
Galaxy	178	266	66,92%
<b>Total</b>	2138	2130	100,38%

**Tabla 46: Resultados Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 7)**

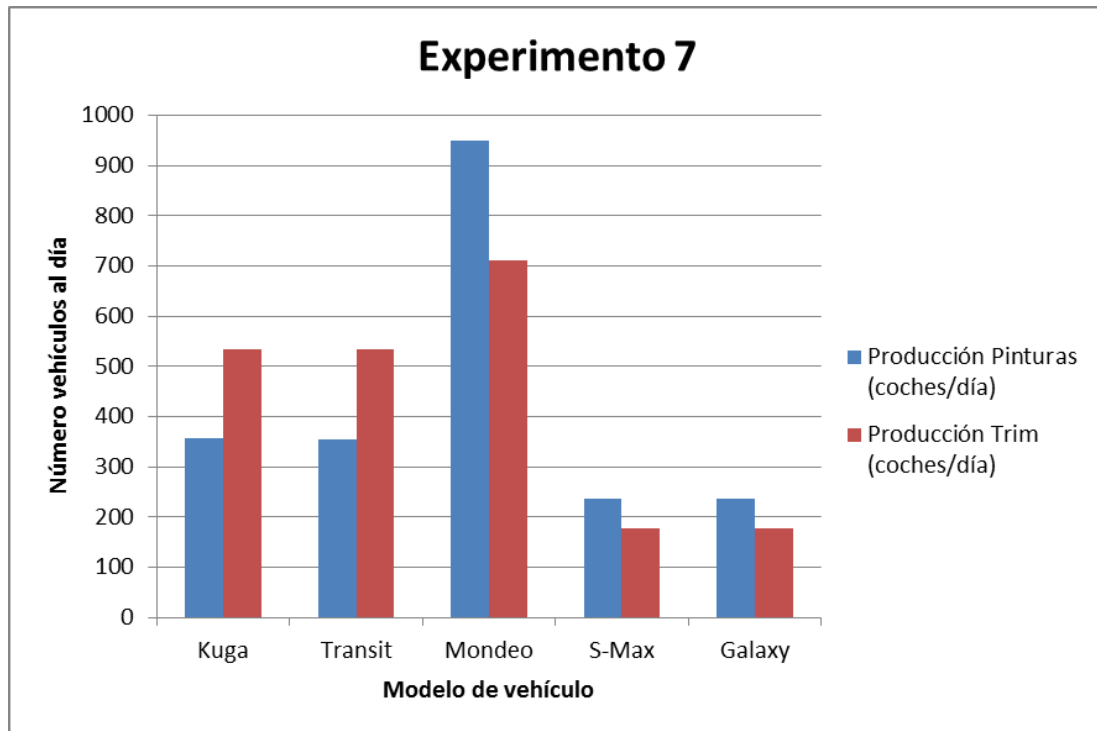
Se puede observar en la comparación de datos de producción de cada uno de los modelos que hay algunos modelos en los que se produce mucha más cantidad de la demandada y hay otros modelos en los que se produce bastante menos cantidad de la demandada. Esto se ve mejor con una gráfica en que se comparen los datos obtenidos y los datos objetivo ilustración 90.



**Ilustración 90: Resultados Experimento 7 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 7)**

Con esta gráfica se ve más claramente como en los modelos Kuga y Transit se produce mucho más de lo que se debe mientras que en los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy se produce menos de lo demandado. También se puede observar como en el conjunto agregado la producción total simulada es ligeramente superior a la producción total objetivo.

Se estudia a continuación si además de haber problemas con la producción de cada uno de los modelos, también hay o no problemas en cuanto al flujo de producción de la planta. Para ello se compara como se ha realizado en los otros experimentos la producción de cada uno de los modelos en el módulo de pinturas y en el módulo de Trim.



**Ilustración 91: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 7 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 7)**

En la ilustración 91 se observa que puede haber un problema en cuanto el flujo de producción ya que puede dejar de ser continuo por varias causas. En primer lugar se puede producir un bloqueo de la línea de producción después del almacén ASRS dado que se producen menos coches Kuga y Transit en la línea de pinturas Pinturas2 que en la línea de Trim Trim2. De esta manera el almacén ASRS cada vez tendrá menos coches almacenados de estos dos modelos hasta llegar a un punto en el que se produzca una rotura de stock y no poder seguir produciendo.

Por otra parte, se puede producir también un bloqueo de la línea de producción antes del almacén ASRS dado a que se producen más vehículos de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy en el módulo de pinturas que en el módulo de Trim. Esto quiere decir que cada vez habrá una mayor cantidad de vehículos de estos tres modelos en el almacén ASRS de manera que se puede llegar a una situación en que el almacén esté completo y que las líneas de producción anteriores al almacén se deban quedar paradas por no poder mandar su producto al almacén.

## 7.8. Experimento 8

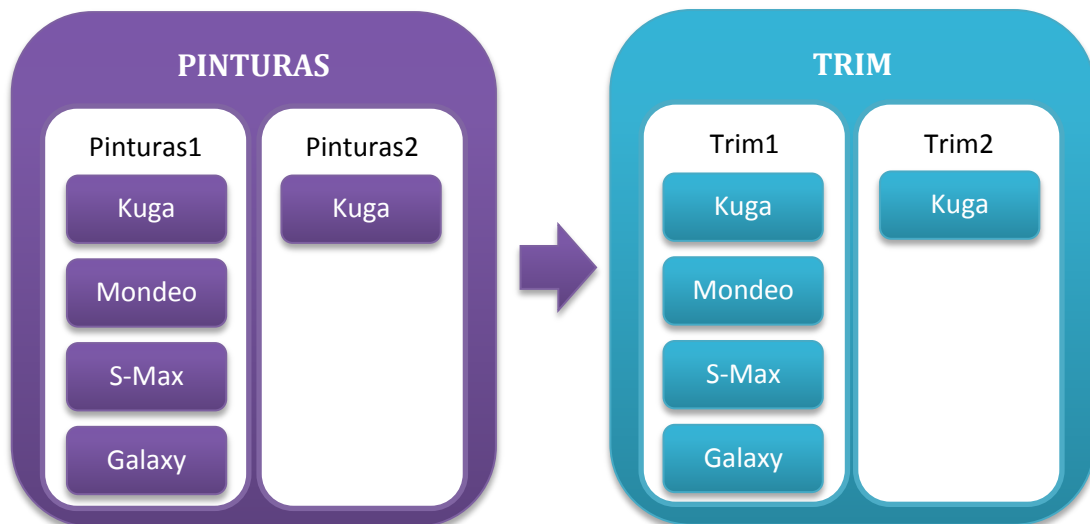
¿Qué sucedería si la demanda cambiara de manera que el 40% de la demanda correspondiera a vehículos de modelo Kuga y el otro 60% de la demanda se repartiera en la misma cantidad entre los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy? Con la simulación de ese escenario se pretende contestar al anterior interrogante.

Si se presentara esa nueva demanda, la cantidad de vehículos de cada uno de los modelos que se tiene que fabricar diariamente es la siguiente presentada en la tabla 47.

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Kuga	40%	852
Mondeo	20%	426
S-Max	20%	426
Galaxy	20%	426
<b>Total</b>	100%	2130

**Tabla 47: Mix de Producción Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 8)**

Se conoce además que el modelo Kuga se puede procesar en ambas líneas de pinturas y en ambas líneas de Trim mientras que el resto de modelos tan solo se pueden procesar en la línea de pinturas denominada Pinturas1 y en la línea de Trim llamada Trim1. Esto se muestra con más detalle en la ilustración 92.



**Ilustración 92: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 8 (elaboración propia a partir de datos Ford España)**

El nivel de producción objetivo de cada uno de los modelos para las líneas de Pinturas y las líneas de Trim serán los reflejados en la tabla 48. Cabe resaltar que el reparto de la producción del modelo Kuga entre las dos líneas de pinturas y las dos líneas de producción se ha realizado en función a la capacidad de producción que tiene cada una de ellas.



	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Pinturas1</b>	Kuga	142	1420
	Mondeo	426	
	S-Max	426	
	Galaxy	426	
<b>Pinturas2</b>	Kuga	710	710
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1278
	Mondeo	426	
	S-Max	426	
	Galaxy	426	
<b>Trim2</b>	Kuga	852	852
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 48: Producción por Modelos Objetivo Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 8)**

Los datos de producción de esta tabla son los que se introducen en el programa de simulación como el volumen a producir en cada una de las líneas para cada uno de los modelos. Tras esto se realiza una simulación con una duración de 24 horas para ver cuál es el comportamiento del sistema ante esta demanda.

Se considera que el objetivo de producción global de la Planta de Almussafes se cumple siempre que el módulo de Trim cumpla con el objetivo. Esto es así porque después del módulo de Trim ya se considera que se produce la salida del vehículo y por tanto todos los vehículos que sean procesados en ese modulo a lo largo de un día son los mismos que se sirven al cliente.

Los resultados obtenidos tras realizar la simulación son los que aparecen en la tabla 49.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas1</b>	Kuga	142	1423
	Mondeo	427	
	S-Max	427	
	Galaxy	427	
<b>Pinturas2</b>	Kuga	711	711
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1068
	Mondeo	356	
	S-Max	356	
	Galaxy	356	
<b>Trim2</b>	Kuga	1068	1068
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

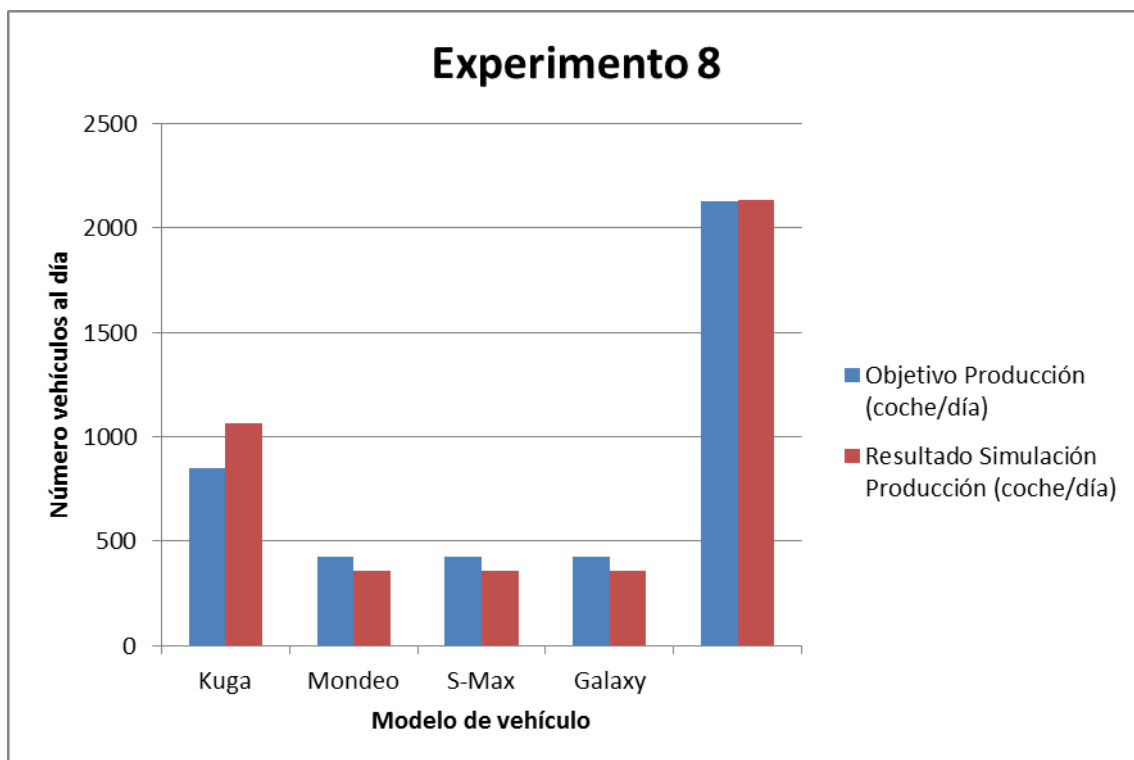
**Tabla 49: Producción por Modelos Obtenida Experimento 8 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 8)**

Una vez obtenidos los resultados de la simulación ya se puede realizar la comparación entre los datos de la demanda y los resultados. De esta manera se podrá conocer si se puede cubrir la demanda con la actual configuración del sistema. Se refleja la comparación de estos datos en la tabla 50.

Modelos	Resultado Simulación Producción (coche/día)	Objetivo Producción (coche/día)	Desviación
Kuga	1068	852	125,35%
Mondeo	356	426	83,57%
S-Max	356	426	83,57%
Galaxy	356	426	83,57%
<b>Total</b>	<b>2136</b>	<b>2130</b>	<b>100,28%</b>

**Tabla 50: Resultados Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 8)**

A partir de la tabla 50 ya se pueden sacar algunas conclusiones pero es mucho más visual si se sacan a partir de un gráfico que contenga estos mismos datos. En el siguiente gráfico (ilustración 93) aparece la comparación entre los resultados y la demanda en cada uno de los modelos y también en el conjunto total del proceso.



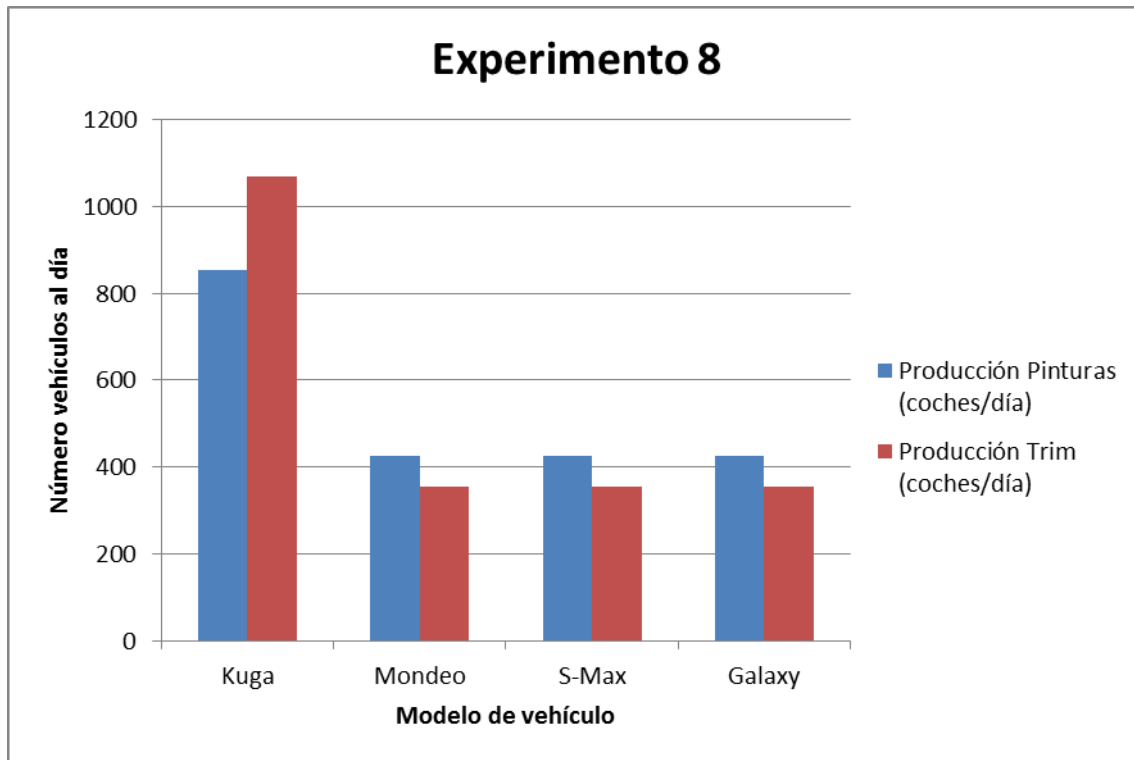
**Ilustración 93: Resultados Experimento 8 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 8)**

Se concluye que en cuanto a la producción global del sistema, la planta productiva de Ford sí que puede cumplir el requisito de fabricar 2130 vehículos. De hecho se llegan a fabricar 2136 vehículos en un solo día, lo cual quiere decir que se cubre el 100,28% de la demanda.

Por otra parte, si se analiza el resultado de cada uno de los modelos se puede observar como en el caso del modelo Kuga se produce una cantidad bastante mayor de vehículos de los que en realidad son requeridos a lo largo de un día cubriendo el 125,35% de la demanda. Y en cuanto a los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy, la planta de Almussafes con su presente configuración no podría responder ante la demanda propuesta. En los tres modelos solamente se consigue cubrir el 83,57% de su demanda.

Con esto se puede concluir que aunque al estudiar los datos totales de producción pudiera parecer que sí que se está cubriendo la demanda, en la realidad no se está cubriendo dado que en algunos de los modelos se está fabricando más de lo demandado y en otros se está fabricando una menor cantidad de lo demandado.

Por otra parte, se puede estudiar cómo será el flujo de producción en el caso de que se tuviera una demanda como la aplicada en este experimento. Para ello se compara la cantidad producida en las líneas del módulo de Pinturas y en las líneas del módulo de Trim para cada uno de los modelos. Se realiza dicha comparación por medio de una gráfica que aparece en la ilustración 94.



**Ilustración 94: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 8 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 8)**

Se puede concluir tras observar la ilustración 94 que pueden haber problemas importantes en el flujo de producción. Se pueden producir dos problemas muy diferentes dependiendo del patrón de producción de cada modelo de vehículo.

En el caso de los vehículos de modelo Kuga, se puede producir un problema de flujo dado que se produce una menor cantidad de vehículos diariamente en el módulo de pinturas que en el módulo de Trim. Esto ocasiona que cada vez haya menos nivel de stock de este modelo en el almacén intermedio entre ambos módulos y que pueda llegar a un punto en el que la línea de Trim se quede bloqueada. Este bloqueo se produce dado que la línea de Trim demanda material al almacén ASRS para poder seguir produciendo y al mismo tiempo el almacén ASRS no tiene material para abastecer a dicha línea.

En el caso de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy, se puede producir un problema en cuanto al flujo de producción dado que en todos ellos se produce más cantidad de vehículos en las líneas de pinturas que en las líneas de Trim. Esta diferencia en la cantidad de producción entre ambos módulos puede producir que en el almacén ASRS se vaya aumentando el nivel de stock de estos modelos a lo largo del tiempo. Con esto se puede llegar a una situación en que el almacén se llene completamente y que las líneas anteriores a este almacén no puedan producir por no tener un almacén donde llevar sus productos.

## 7.9. Experimento 9

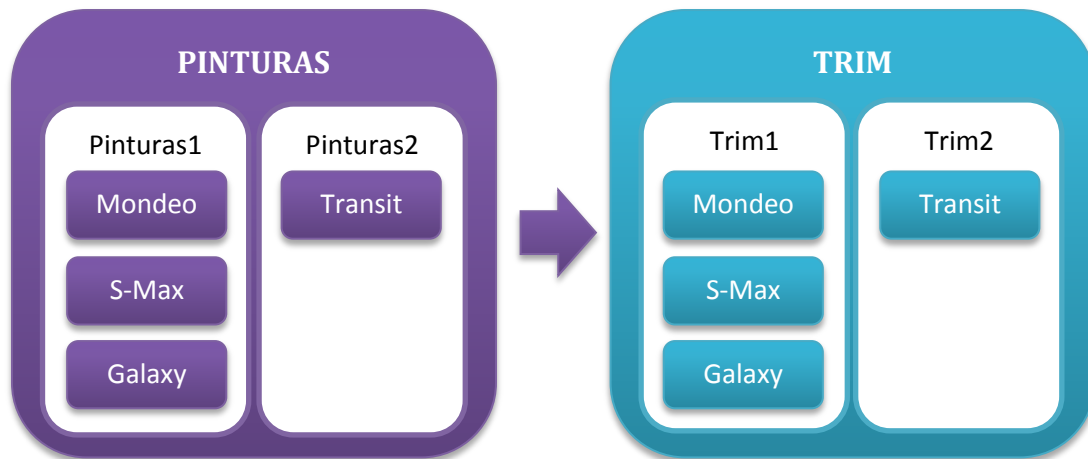
En este nuevo experimento se plantea si la planta de producción de Ford en Almussafes sería capaz de abastecer una situación en la que el 40% de la demanda corresponda a vehículos Transit y el 60% restante de la demanda se reparta en partes iguales entre los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy.

Dado este nuevo mix de producción, la cantidad de coches que se deben producir diariamente por cada uno de los modelos será el reflejado en la tabla 51.

<b>Modelo</b>	<b>Mix producción</b>	<b>Volumen producción diario (coches/día)</b>
Transit	40%	852
Mondeo	20%	426
S-Max	20%	426
Galaxy	20%	426
<b>Total</b>	100%	2130

**Tabla 51: Mix de Producción Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 9)**

Los vehículos de modelo Transit tan solo pueden ser procesados en la línea de pinturas denominada Pinturas2 y en la línea de Trim llamada Trim2. En cambio los vehículos de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy solamente pueden ser procesados en la línea de pinturas llamada Pinturas1 y en la línea de Trim denominada Trim1. La relación entre los modelos y los modules de pintura y Trim aparecen en la ilustración 95.



**Ilustración 95: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 9 (elaboración propia a partir de datos Ford España)**

De esta manera se fija la producción objetivo de cada uno de los modelos en cada una de las líneas. Estos datos aparecen en la tabla 52 y serán los datos a introducir en el programa de simulación para poder ejecutar el experimento.



	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Pinturas1</b>	Transit	0	1278
	Mondeo	426	
	S-Max	426	
	Galaxy	426	
<b>Pinturas2</b>	Transit	852	852
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Transit	0	1278
	Mondeo	426	
	S-Max	426	
	Galaxy	426	
<b>Trim2</b>	Transit	852	852
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 52: Producción por Modelos Objetivo Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 9)**

Se realiza con una simulación con una duración de 24 horas para ver cuál es el comportamiento del sistema ante esta nueva demanda. Se considera que el objetivo de producción global de la Planta de Almussafes se cumple siempre que el módulo de Trim cumpla con el objetivo. Esta consideración se realiza dado que el módulo de Trim es el último módulo del proceso productivo y por tanto, la cantidad de vehículos que salgan de Trim serán los que abastezcan directamente la demanda.

Tras realizar la simulación se obtienen los resultados que se anotan en la tabla 53 y que servirán para comprobar si se puede cubrir la demanda planteada o no.

	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas1</b>	Transit	0	1422
	Mondeo	474	
	S-Max	474	
	Galaxy	474	
<b>Pinturas2</b>	Transit	711	711
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Transit	0	1068
	Mondeo	356	
	S-Max	356	
	Galaxy	356	
<b>Trim2</b>	Transit	1068	1068
	Mondeo	0	
	S-Max	0	
	Galaxy	0	

**Tabla 53: Producción por Modelos Obtenida Experimento 9 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 9)**

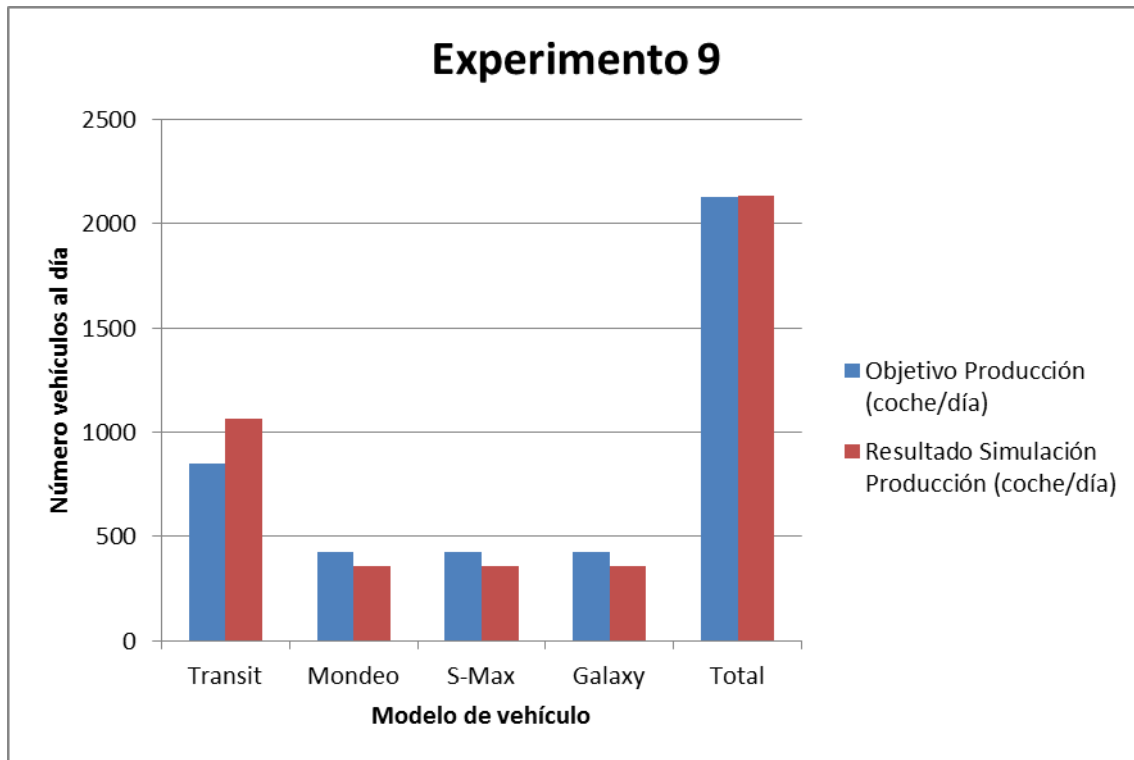
Con los resultados obtenidos ya se puede comprobar que en el módulo de Trim se producen un total de 2136 vehículos, lo cual quiere decir que se puede cumplir la demanda de fabricación de 2130 vehículos.

Para poder obtener más información sobre el funcionamiento del sistema y el cumplimiento de la demanda se presenta a continuación la tabla 54 en la que se comparan los datos objetivos a alcanzar en cuanto a producción y también los resultados obtenidos.

<b>Modelos</b>	<b>Resultado Simulación Producción (coche/día)</b>	<b>Objetivo Producción (coche/día)</b>	<b>Desviación</b>
Transit	1068	852	125,35%
Mondeo	356	426	83,57%
S-Max	356	426	83,57%
Galaxy	356	426	83,57%
<b>Total</b>	2136	2130	100,28%

**Tabla 54: Resultados Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 9)**

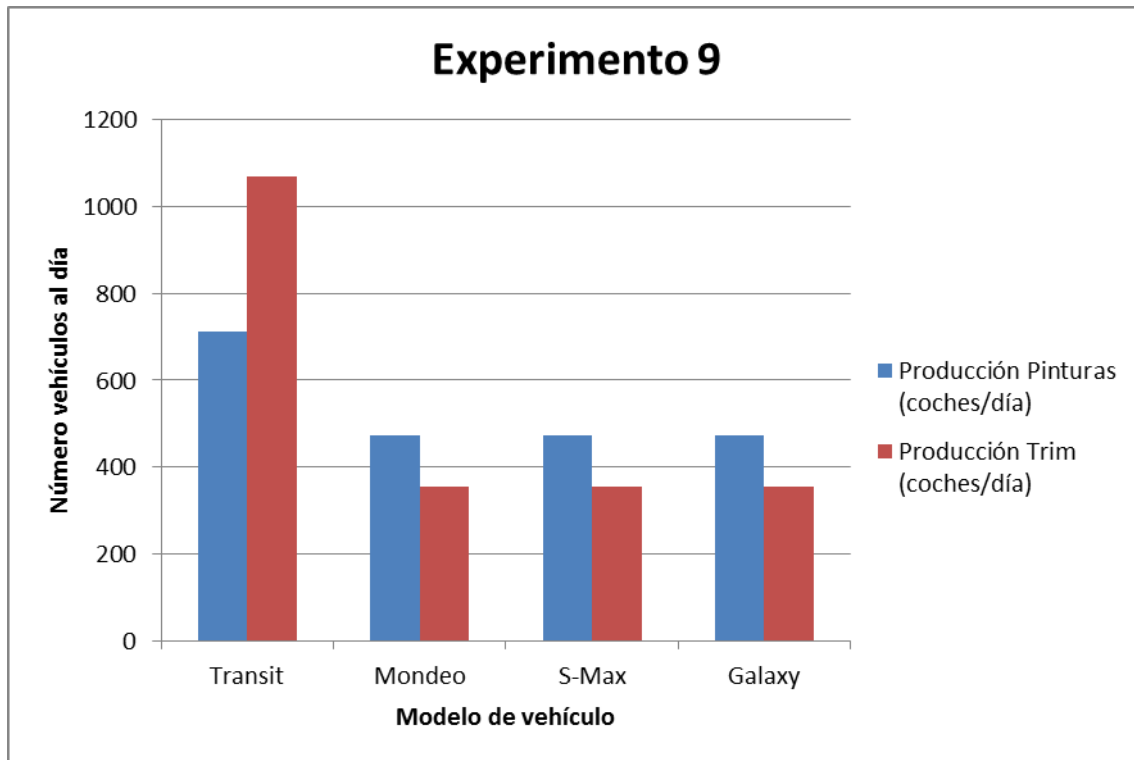
Con esta comparación se puede observar que efectivamente, se cubre el 100,28% de la demanda total. El problema ocurre al analizar los resultados de producción de cada uno de los modelos ya que se observa que en el caso del modelo Transit se cubre el 125,35% de la demanda y en los otros modelos tan solo se cubre el 83,57% de la demanda. Por tanto, que se esté obteniendo una producción total mayor a la esperada no quiere decir que se esté cubriendo la demanda correctamente.



**Ilustración 96: Resultados Experimento 9 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 9)**

En la gráfica presentada en la ilustración 96 se puede observar con mayor claridad como en el caso del modelo Transit se produce una mayor cantidad de vehículos a lo largo de un día de la que realmente se está demandando en este caso. Por otro lado, se puede observar también como en el caso de los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy la producción realizada no llega a alcanzar el nivel objetivo de la demanda.

Se estudia a continuación si además de haber problemas con la producción de cada uno de los modelos, también hay o no problemas en cuanto al flujo de producción de la planta. Para ello se compara en la ilustración 97, tal y como se ha realizado en los otros experimentos la producción de cada uno de los modelos en el módulo de pinturas y en el módulo de Trim.



**Ilustración 97: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 9 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 9)**

Se observa al realizar la comparación que en el caso del modelo Transit se produce menor cantidad de vehículos en las líneas de pinturas que en las líneas de Trim. Dado que hay un almacén intermedio entre ambas líneas, que la diferencia de producción entre ellas sea tan notable puede repercutir al funcionamiento del sistema. El problema que puede acontecer en este paso es que el almacén cada vez esté más vacío. Esto sucedería dado que entran vehículos al almacén con menor frecuencia de lo que salen del almacén, y con ello se pueda producir una rotura de stock. Si esta situación ocurriera, la línea de Trim se quedaría bloqueada durante los tiempos de espera hasta que le llegue el material para poder seguir produciendo.

Por otra parte, en los modelos Mondeo, S-Max y Galaxy puede ocurrir el caso contrario. La frecuencia de entrada de vehículos en el almacén ASRS es mayor que la frecuencia de salida de vehículos, con lo cual cada vez se almacena una mayor cantidad de estos modelos en dicho almacén. Se puede llegar por tanto a una situación en que el almacén esté lleno y que las líneas anteriores al almacén queden bloqueadas hasta que puedan mandar el producto al almacén.

### 7.10. Experimento 10

En el último experimento se plantea una situación con otra demanda diferente en que el 50% de lo demandado corresponda al modelo Galaxy y que el resto de la demanda esté repartida uniformemente entre los modelos Kuga y Transit. Se pretende estudiar por tanto si la planta de producción con la configuración actual es capaz de abastecer la demanda planteada.

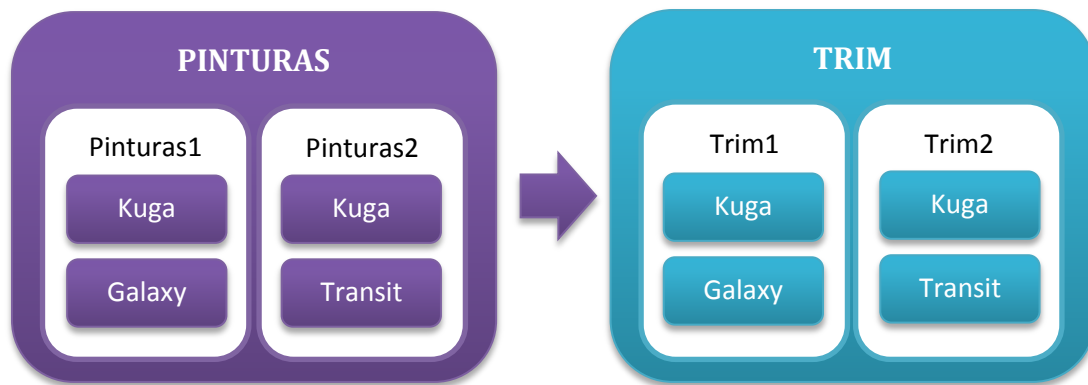
El mix de producción que se ha planteado así como la cantidad total de vehículos de cada modelo que se han de producir para poder cumplir con la demanda son los que aparecen en la tabla 55.

Modelo	Mix producción	Volumen producción diario (coches/día)
Kuga	25%	533
Transit	25%	533
Mondeo	0%	0
S-Max	0%	0
Galaxy	50%	1065
<b>Total</b>	100%	2130

**Tabla 55: Mix de Producción Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 10)**

En realidad el 25% de la demanda correspondería a un total de 532,5 vehículos al día. Como los vehículos son indivisibles y se considera que se tiene que realizar toda su producción, se asignará un total de 532 vehículos diarios a producir del modelo Transit y un total de 533 vehículos diarios a producir del modelo Kuga.

Por lo tanto solo se van a producir en este experimento los modelos Kuga, Transit y Galaxy. En la ilustración 98 se puede observar en que línea de producción se puede procesar cada uno de ellos.



**Ilustración 98: Relación Modelo Vehículo y Líneas de Producción Experimento 10 (elaboración propia a partir de datos Ford España)**

Basada en esta relación entre los diferentes modelos de vehículos y las líneas de producción se realiza el reparto del volumen que cada una de estas líneas deberá fabricar. En el caso de los modelos Galaxy y Transit, solo se producirán cada uno en la línea que le corresponde mientras que en el caso del modelo Kuga, se adecuará su producción en cada una de las líneas en función de su capacidad en las mismas. Los datos del objetivo de producción en cada una de las líneas de producción será por tanto el que aparece en la tabla 56.



	<b>Modelos</b>	<b>Producción diaria (coche/modelo)</b>	<b>Producción diaria total (coches)</b>
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	355	1420
	Transit	0	
	Galaxy	1065	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	178	710
	Transit	532	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1065
	Transit	0	
	Galaxy	1065	
<b>Trim2</b>	Kuga	533	1065
	Transit	532	
	Galaxy	0	

**Tabla 56: Producción por Modelos Objetivo Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos para el Experimento 10)**

Se introducen estos datos en el programa de simulación y se realiza una simulación de 24 horas de duración, tras la cual se podrá saber de qué manera ha reaccionado el sistema ante esta nueva demanda.

	Modelos	Producción diaria (coche/modelo)	Producción diaria total (coches)
<b>Pinturas 1</b>	Kuga	356	1423
	Transit	0	
	Galaxy	1067	
<b>Pinturas 2</b>	Kuga	178	711
	Transit	533	
	Galaxy	0	
<b>Trim1</b>	Kuga	0	1068
	Transit	0	
	Galaxy	1068	
<b>Trim2</b>	Kuga	535	1070
	Transit	535	
	Galaxy	0	

**Tabla 57: Producción por Modelos Obtenida Experimento 10 (elaboración propia a partir de los resultados de la simulación del Experimento 10)**

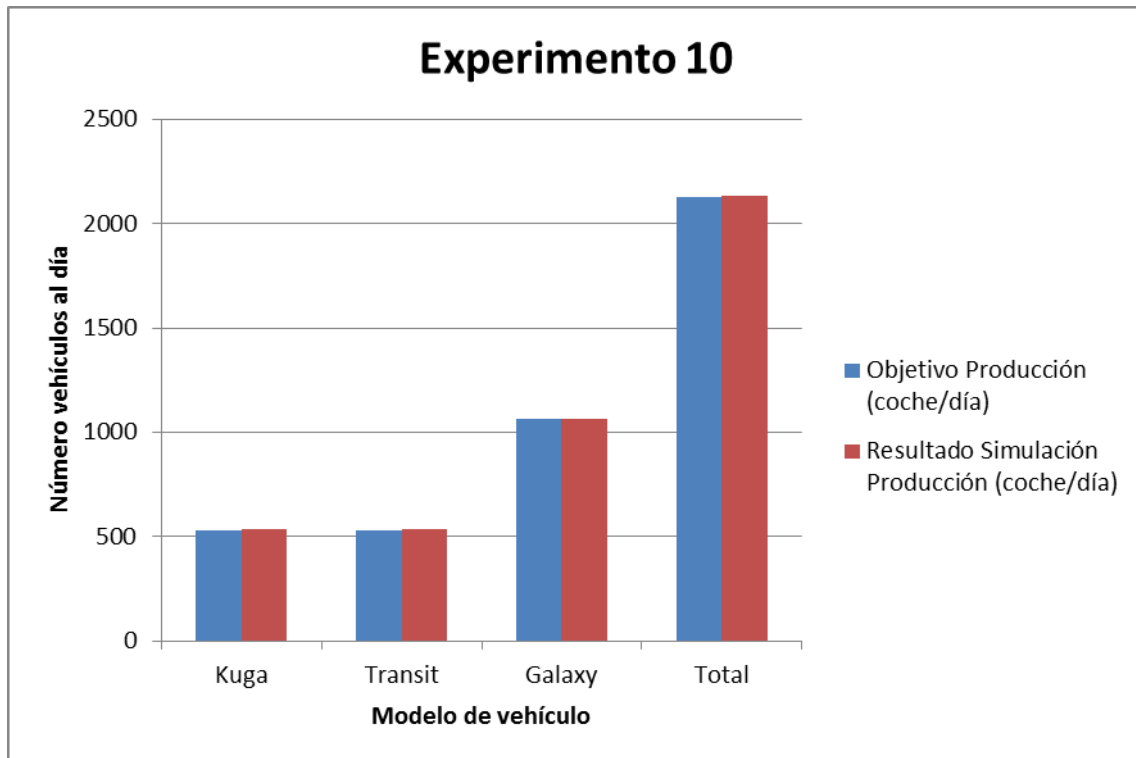
Con la observación de los resultados (ver tabla 57) a primera vista ya se puede comprobar que la suma de los totales de producción de Trim suman más de 2130 vehículos diarios por lo que parece ser que se cumple con la demanda.

Para comprobarlo se comparará el objetivo de demanda de cada uno de los modelos con el resultado obtenido para ellos en la tabla 58.

Modelos	Resultado Simulación Producción (coche/día)	Objetivo Producción (coche/día)	Desviación
Kuga	535	533	100,38%
Transit	535	532	100,56%
Galaxy	1068	1065	100,28%
<b>Total</b>	2138	2130	100,38%

**Tabla 58: Resultados Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 10)**

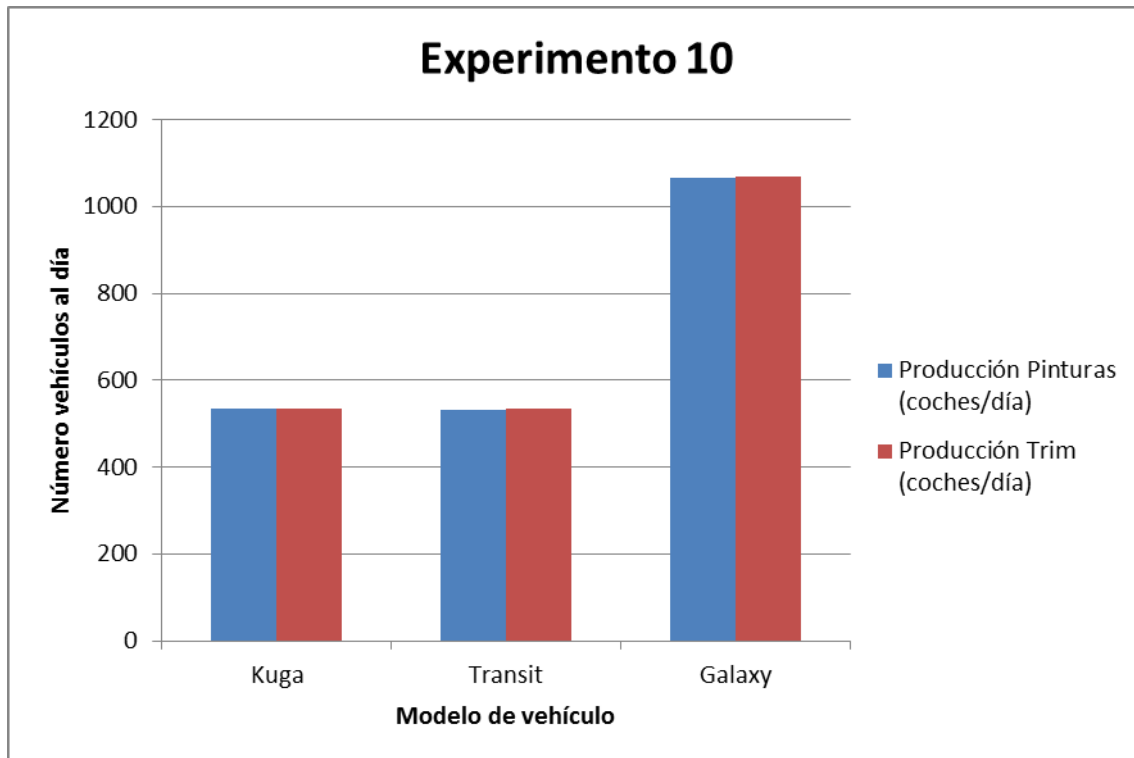
En este caso se puede comprobar en la tabla 58 que en todos los modelos se cumple con la demanda ya que la variación de los resultados respecto del objetivo es en todos los modelos superior al 100%. Esto quiere decir que mediante la simulación se ha superado la producción que se había propuesto como objetivo.



**Ilustración 99: Resultados Experimento 10 (elaboración propia a partir de los datos objetivo propuestos y de los resultados de la simulación del Experimento 10)**

Estos mismos resultados se pueden comprobar mediante el gráfico presentado en la ilustración 99, donde se ve claramente que los datos de objetivo de la producción y los datos de resultados de la simulación son bastante similares y que en todos los casos, la simulación sobrepasa levemente el objetivo propuesto.

Se estudia por último si puede haber algún problema de descompensación de la producción entre los diferentes módulos de manera que esto pudiera afectar negativamente al flujo de producción. Para ello se compara los datos de producción de los diferentes módulos para cada uno de los modelos mediante una gráfica presentada en la ilustración 100.



**Ilustración 100: Diferencia Producción Pinturas y Trim Experimento 10 (elaboración propia a partir de resultados de simulación del Experimento 10)**

Con la comparación de la producción en el módulo de pinturas y el módulo de Trim se ve claramente como el flujo va a ser continuo. Por tanto no se puede producir el caso de que se produzca una rotura de stock o de que se llenen los almacenes provocando así un bloqueo de alguna parte de la planta.

### 7.11. Resultados experimentos

En los apartados anteriores se han realizado diez experimentos con diferentes propuestas de cambio de demanda que pudieran afectar a la planta de fabricación. Con la realización de estos experimentos se ha pretendido conocer de qué manera iba a responder el sistema ante cada una de las situaciones y también poder sacar conclusiones que sirvan para conocer cuando la planta de Almussafes va a poder cubrir la demanda y cuando no va a poder según su configuración requerida.

Para conocer si cada uno de los experimentos cumplía con los objetivos o no de producción se han planteado tres preguntas.

1. ¿Se cumple con el objetivo propuesto por la compañía Ford de producir diariamente 2130 vehículos?
2. ¿Se cumple con el objetivo de cubrir la demanda cambiante según cada una de las situaciones a lo largo de un día?
3. ¿Se cumple con el objetivo de ser una empresa que trabaja con un flujo continuo siendo fiel a los principios de la filosofía Just In Time?

En cada uno de los experimentos ya se ha respondido a estas preguntas, pero a modo de resumen aparece a continuación una tabla en que se contestan a cada una de estas preguntas de forma concreta (ver tabla 59).

	Mix de producción		¿Produce 2130 coches/día?	¿Cumple mix de producción?	¿Cumple flujo continuo de producción?
Experimento 1	Kuga		NO	NO	NO
	Transit				
	Mondeo				
	S-Max	50%			
	Galaxy	50%			
Experimento 2	Kuga		SÍ	SÍ	NO
	Transit	50%			
	Mondeo	50%			
	S-Max				
	Galaxy				
Experimento 3	Kuga	20%	SÍ	NO	NO
	Transit	20%			
	Mondeo	20%			
	S-Max	20%			
	Galaxy	20%			
Experimento 4	Kuga		SÍ	SÍ	NO
	Transit	50%			
	Mondeo				
	S-Max				
	Galaxy	50%			
Experimento 5	Kuga	50%	SÍ	SÍ	SÍ
	Transit	12,50%			
	Mondeo	12,50%			
	S-Max	12,50%			
	Galaxy	12,50%			
Experimento 6	Kuga	12,50%	SÍ	SÍ	NO
	Transit	50%			
	Mondeo	12,50%			
	S-Max	12,50%			
	Galaxy	12,50%			
Experimento 7	Kuga	12,50%	SÍ	NO	NO
	Transit	12,50%			
	Mondeo	50%			
	S-Max	12,50%			
	Galaxy	12,50%			

	Mix de producción		¿Produce 2130 coches/día?	¿Cumple mix de producción?	¿Cumple flujo continuo de producción?
Experimento 8	Kuga	40%	SÍ	NO	NO
	Transit				
	Mondeo	20%			
	S-Max	20%			
	Galaxy	20%			
Experimento 9	Kuga		SÍ	NO	NO
	Transit	40%			
	Mondeo	20%			
	S-Max	20%			
	Galaxy	20%			
Experimento 10	Kuga	25%	SÍ	SÍ	SÍ
	Transit	25%			
	Mondeo				
	S-Max				
	Galaxy	50%			

Tabla 59: Resultados de los Experimentos (elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en la simulación de los experimentos)





## 8. Evaluación de los resultados

En primer lugar, se ha conseguido realizar un modelo de simulación mediante el cual se puede simular el comportamiento de la planta de producción de la empresa Ford situada en Almussafes.

Este modelo ha sido validado mediante diferentes pruebas. La primera de las pruebas consistía en comprobar que el sistema productivo era capaz de realizar la producción diaria propuesta por la empresa Ford España. Por otra parte, con la segunda prueba de validación se trataba de observar si el flujo de material entre los módulos que componen la fábrica de Almussafes era un flujo continuo y que por tanto cumpliera con la filosofía Just In Time propuesta. Los resultados para ambas pruebas fueron positivos y por tanto el modelo quedó validado como que era un modelo representativo de la realidad.

Una vez validado el modelo, se ha procedido a la realización de experimentos mediante los cuales se trataba de conocer con mayor profundidad cuál es el comportamiento que puede tener la planta de producción Ford ante varias situaciones en las que la demanda variaba respecto a la original propuesta por la empresa.

La principal conclusión que se ha sacado a partir de la realización de los experimentos es que se podrá cumplir con las demandas cambiantes del mercado siempre y cuando la demanda agregada de los modelos que se pueden fabricar en una misma línea de producción no supere la capacidad de la misma.

Para ver esta conclusión de una manera más visual y poder proponer las restricciones bajo las cuales el proceso productivo funcionará correctamente se presenta la siguiente ilustración (ilustración 101).

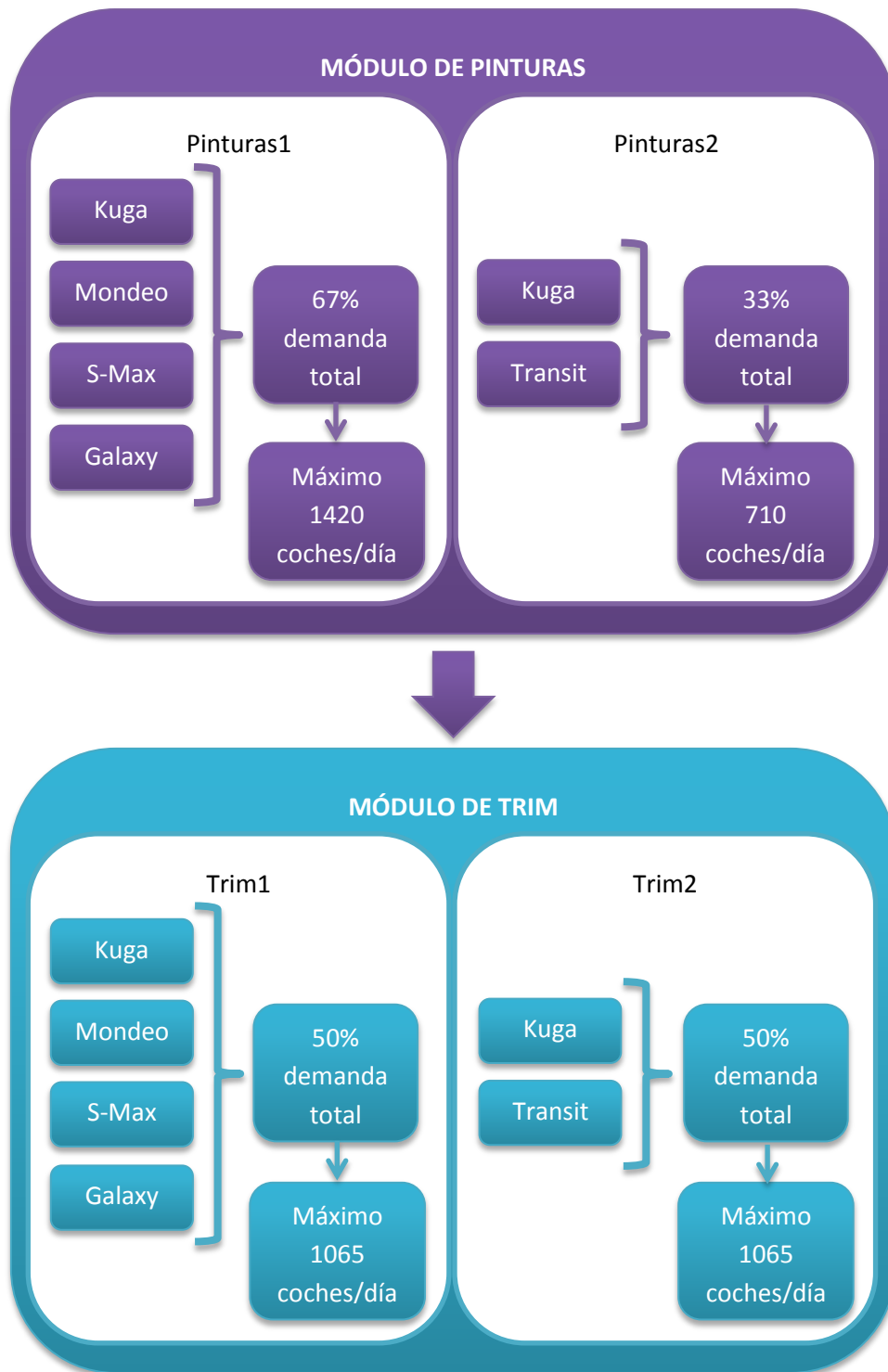


Ilustración 101: Restricciones de producción (elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en los experimentos)

Según la ilustración 101, la línea de producción más restrictiva es la línea de pinturas denominada Pinturas2 ya que es la que menor capacidad productiva posee. Esta línea de producción tan solo puede procesar un total de 710 vehículos a lo largo de un día. Por tanto, la suma de la demanda de los modelos Kuga y Transit a producir en esta línea deberá ser menor o igual a 710 vehículos diarios para que se pueda cubrir la demanda.

En los casos en que el agregado de la demanda a procesar en alguna de las líneas de producción supere los valores presentados en la ilustración anterior, se deberá realizar cambios en la configuración de la planta de producción de manera que se pueda abastecer una mayor demanda en cada una de las líneas de producción. Para ello se proponen las siguientes ideas:

- En primer lugar, se propone cambiar el tiempo de ciclo de cada una de las líneas de producción. Con la medida en que se disminuye el tiempo de ciclo de las líneas de producción, se puede producir una mayor cantidad de vehículos diarios.
- En segundo lugar, dado que la diferencia entre ambas líneas pertenecientes al módulo de pinturas se diferencian básicamente en que el proceso es diferente. Se podría adoptar medidas para que el proceso fuera lo más estándar posible en todos los modelos de vehículos y por lo tanto, poder quitar la restricción de que los modelos se puedan procesar en una u otra línea indistintamente. De esta manera, se repartiría la demanda de producción entre ambas líneas sin importar que modelo de vehículo fuere.



## 9. Líneas de futuro

Con los resultados obtenidos a partir de los experimentos realizados se ha podido sacar algunas conclusiones que podrían considerarse de utilidad para la empresa Ford y que han permitido conocer en mayor profundidad cuál es el comportamiento que su planta de producción podría tener ante varias situaciones.

Haciendo una proyección hacia el futuro, se podrían realizar muchos más experimentos desde otras varias perspectivas podrían enriquecer el conocimiento de la planta y su comportamiento. Algunas líneas de futuro por las que se aconsejaría seguir realizando experimentos son:

- Plantear diferentes escenarios donde se realice un cambio en los tiempos de ciclo de cada una de los módulos de producción. De esta manera se podría saber qué ocurre ante los cambios de velocidades de producción en la planta y estudiar dentro de qué límites se debe fijar el tiempo de ciclo de la misma para poder llegar al objetivo de producción propuesto en cada momento.
- Plantear diferentes escenarios donde se trabaje en un mayor o menor número de turnos. Es decir, que se incremente o decremente el tiempo de producción de las líneas de producción. En estos escenarios se puede conseguir información sobre por ejemplo, ¿qué pasaría un día si los empleados hacen huelga? O ¿Qué pasaría si se contratara a más trabajadores?

- Realizar un mayor número de experimentos con diferentes escenarios de demandas a las que pueda estar sometida la empresa Ford. Se plantea esta línea de futuro dado que en este proyecto tan solo se han realizado 10 experimentos en los que se han tenido en cuenta los 10 escenarios que más posibilidad tienen de darse en la realidad. Obviamente existen muchos más escenarios que se pueden presentar en un futuro y a los que la empresa Ford tendría que hacer frente. Por ello se propone la realización de más experimentos para poder sacar más conclusiones del funcionamiento de la planta de producción y sus limitaciones.
- Plantear nuevos experimentos con el objetivo de averiguar cuanto tiempo de warm-up va a ser necesario en cada uno de los módulos de producción. En todo este proyecto, se ha trabajado con la condición de que el sistema ya estuviera en equilibrio y que se hubiera creado un flujo de producción. Para ello se han llenado los almacenes desde el principio de la ejecución de la simulación. Se propone ahora, no llenar estos almacenes para ver cuánto tiempo sería el necesario para llegar a un flujo de producción estable.
- Plantear experimentos en los cuales los tiempos entre averías de cada una de las líneas de predicción así como su tiempo de reparación no fueran valores constantes, sino que siguieran una distribución aleatoria. De estas maneras se podría llegar a conclusiones sobre el comportamiento del sistema ante diversos casos donde hubieran por ejemplo averías muy frecuentes pero con poco tiempo de reparación, pocas averías pero con una gran duración de reparación, muchas averías con mucho tiempo de reparación...

Como se puede observar, las anteriores propuestas podrían constituir líneas de investigación dirigidas hacia el objetivo de profundizar en el conocimiento sobre el comportamiento de la planta de producción de la empresa Ford en Almussafes. Sería interesante continuar realizando estos estudios para facilitar la toma de decisiones durante la transición de tres a cinco modelos de vehículos.





## 10. Presupuesto

El total del importe de presupuesto se compone de los presupuestos de las visitas a la empresa Ford, las reuniones realizadas con expertos, el trabajo realizado en el programa de simulación SIMIO y la redacción del TFG. El detalle de estos importes aparece reflejado a continuación:

### 1. Visitas a la empresa Ford

Se programaron traslados a la empresa Ford para realizar una primera recolección de información para el diseño del modelo de simulación.

Concepto	Cantidad	Precio	Importe	
1.1. Desplazamientos	Número de desplazamientos realizados a la planta de Ford situada en Almussafes.	2	5€	10€
1.2. Dietas	Número de dietas correspondientes a las visitas realizadas.	2	6€	12€
<b>Importe total</b>			22€	

### 2. Reuniones

Se realizan reuniones con diferentes expertos para realizar recogida de información así como para llevar a cabo asesorías académicas y asesorías técnicas.

Concepto	Cantidad	Precio	Importe	
2.1. Director del proyecto	Número de horas por las tareas de asesoría académica realizada durante las reuniones.	15	50€	750€
2.2. Ingeniero experto en SIMIO	Número de horas dedicadas para consultas sobre el programa de simulación SIMIO y para recolectar información.	8	50€	400€
<b>Importe total</b>			1.150€	

## 3. Trabajo SIMIO

Se realiza el proceso de simulación en el programa SIMIO por parte de la graduada en Ingeniería en Organización Industrial.

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
3.1. Construcción del modelo	Número de horas dedicadas a construir el modelo en SIMIO 80	15€	1.200€
3.2. Simulación	Número de horas dedicadas a ejecutar las simulaciones del sistema 25	15€	375€
3.3. Análisis de resultados	Número de horas dedicadas a analizar los resultados obtenidos en las simulaciones. 40	15€	600€
<b>Importe total</b>			<b>2.175€</b>

## 4. Redacción del TFG

Se realiza la redacción del Trabajo Final de Grado por parte de la graduada en Ingeniería en Organización Industrial.

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
4.1. Redacción TFG	Número de horas dedicadas a la redacción del proyecto en las que se incluye el estudio del marco teórico, la presentación de los resultados y las conclusiones obtenidas. 130	15€	1.950€
<b>Importe total</b>			<b>1.950€</b>

Importe Total Presupuesto:

<b>Concepto</b>	<b>Importe</b>
1. Visitas a la empresa Ford	22€
2. Reuniones	1.150€
3. Trabajo SIMIO	2.175€
4. Redacción del TFG	1.950€
<b>Importe total</b>	<b>5.297€</b>



## Anexos

### Anexo I: Propiedades del Servidor

Las propiedades del objeto Servidor son las que aparecen en la tabla 60 y 61.

Process Logic	
Capacity Type	<p>Especifica el método con el cual se controla la capacidad del servidor a lo largo del tiempo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixed: refleja el número de entidades que pueden ser procesadas simultáneamente en el servidor.</li> <li>• Work Schedule: la capacidad cambia automáticamente para seguir un horario definido en las tablas de horario.</li> </ul>
Ranking Rule	<p>Reglas de clasificación que sirven para ordenar la entrada de las entidades al servidor. Se puede escoger entre las siguientes reglas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• First In First Out. La primera entidad que llega al servidor es la primera en ser procesada.</li> <li>• Last In First Out. La última entidad que llega al servidor es la siguiente en ser procesada.</li> <li>• Smallest Value First. Se procesa la entidad que esté en cola y que tenga menor valor para una expresión dada por el usuario.</li> <li>• Largest Value First. Se procesa la entidad que esté en cola y que tenga mayor valor para una expresión dada por el usuario.</li> </ul>
Processing Time	Tiempo que se emplea en procesar cada una de las entidades.

Tabla 60: Propiedades del Objeto Servidor (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))

<b>Buffer Capacities</b>	
Input Buffer	Número de entidades que se pueden almacenar en la entrada del servidor.
Output Buffer	Número de entidades que se pueden almacenar en la salida del servidor.
<b>Reliability Logic</b>	
Uptime Between Failures	Tiempo que transcurre entre dos averías consecutivas del servidor.
Time To Repair	Tiempo que se tarda en reparar dicho servidor.
<b>Add-On Process Triggers</b>	
Add-On Process Triggers	Procesos que se realizan en el servidor.
<b>General</b>	
Name	Nombre que se le da al objeto.
Description	Descripción del uso del objeto en el modelo.

Tabla 61: Propiedades del Objeto Servidor (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) (continuación de la tabla 60)

**Anexo II: Tipos de Proceso Complemento**

<b>Proceso complemento</b>	<b>Objeto</b>	<b>Punto donde se ejecuta</b>
Run initialized	Source Sink Server BasicNode TransferNode	Ocurre cuando se inicia la simulación del modelo.
Run ending	Source Sink Server BasicNode TransferNode	Ocurre cuando la simulación del modelo está terminando.
Entered	Sink Server BasicNode TransferNode	Ocurre inmediatamente después de que la entidad entre en el objeto y va a comenzar el “Transfer-In Time”.
Before Processing	Server	Ocurre cuando una entidad está asignada para ser procesada pero aún no ha entrado en la estación de procesamiento del servidor.
Processing	Server	Ocurre cuando una entidad está asignada para ser procesada, ha entrado en la estación de procesamiento del servidor y va a comenzar el tiempo de procesado.
After Processing	Server	Ocurre cuando una entidad ya ha sido procesada y va a salir de la estación de procesado del servidor.
Exited	Source Server BasicNode TransferNode	Ocurre cuando una entidad ha salido del objeto.

**Tabla 62: Tipos de Proceso Complemento (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013))**

<b>Proceso complemento</b>	<b>Objeto</b>	<b>Punto donde se ejecuta</b>
Failed	Server	Ocurre cuando el objeto ha fallado.
Repaired	Server	Ocurre cuando un fallo en el objeto es reparado.
On Shift	Server	Ocurre cuando el objeto se enciende debido a su horario de trabajo definido.
Off Shift	Server	Ocurre cuando el objeto se apaga debido a su horario de trabajo definido.

**Tabla 63: Tipos de Proceso Complemento (elaboración propia a partir de (Pedgen & Sturrock, 2013)) (continuación de la tabla 62)**



**Anexo III: Tipos de Datos**

<b>Tipo de propiedad</b>	<b>Definición</b>
Real	Una constante numérica real.
Integer	Una constante numérica entera.
Boolean	Una casilla para chequear si es verdadero o falso.
Expression	Una expresión válida en SIMIO que puede contener una o más variables.
Date Time	Un valor de fecha y hora.
String	Una cadena de texto válida.
Event	Un evento que está definido en el contexto del modelo.
List	Un valor seleccionado de una lista que está referenciada por la propiedad.
Enumeration	Un valor de una enumeración que está referida a la propiedad.
Rate Table	A rate table that is defined for this model
Table	Una tabla de datos que está definida para este modelo.
Sequence Table	Una tabla de secuencia que está definida para este modelo.
State	Un estado definido para este modelo.
Schedule	Un calendario que está definido para este modelo.
Day Pattern	Un horario de un día que está definido para este modelo.
Selection Rule	Una selección de reglas dinámica.

Tabla 64: Tipos de Datos (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

**Anexo IV: Horarios Planta de Producción**

El horario de cada una de las líneas correspondientes al módulo de Carrocerías es el que aparece en la tabla 65.

	Carrocerías1		Carrocerías2		Carrocerías3	
	Horario trabajo	Horario descanso	Horario trabajo	Horario descanso	Horario trabajo	Horario descanso
<b>Primer turno</b>	-	-	22:00 - 00:00	00:00 - 00:10	22:00 - 00:00	00:00 - 00:10
	-	-	00:10 - 02:00	02:00 - 02:10	00:10 - 02:00	02:00 - 02:10
	-	-	02:10 - 04:00	04:00 - 04:15	02:10 - 04:00	04:00 - 04:15
	-	-	04:15 - 05:00	05:00 - 05:10	04:15 - 05:00	05:00 - 05:10
	-	-	05:10 - 06:00	-	05:10 - 06:00	-
<b>Segundo turno</b>	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10
	08:10 - 10:00	10:00 - 10:10	08:10 - 10:00	10:00 - 10:10	08:10 - 10:00	10:00 - 10:10
	10:10 - 11:30	11:30 - 11:45	10:10 - 11:30	11:30 - 11:45	10:10 - 11:30	11:30 - 11:45
	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40
	12:40 - 14:00	-	12:40 - 14:00	-	12:40 - 14:00	-
<b>Tercer turno</b>	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10
	16:10 - 18:00	18:00 - 18:10	16:10 - 18:00	18:00 - 18:10	16:10 - 18:00	18:00 - 18:10
	18:10 - 19:30	19:30 - 19:45	18:10 - 19:30	19:30 - 19:45	18:10 - 19:30	19:30 - 19:45
	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40
	20:40 - 22:00	-	20:40 - 22:00	-	20:40 - 22:00	-

**Tabla 65: Horario del Módulo de Carrocerías (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España)**

El horario de cada una de las líneas correspondientes al módulo de Pinturas es el que aparece en la tabla 66.

	Pinturas1		Pinturas2	
	Horario trabajo	Horario descanso	Horario trabajo	Horario descanso
<b>Primer turno</b>	22:00 - 00:00	00:00 - 00:10	22:00 - 00:00	00:00 - 00:10
	00:10 - 02:00	02:00 - 02:15	00:10 - 02:00	02:00 - 02:15
	02:15 - 04:00	04:00 - 04:15	02:15 - 04:00	04:00 - 04:15
	04:15 - 05:00	05:00 - 05:10	04:15 - 05:00	05:00 - 05:10
	-	-	-	-
<b>Segundo turno</b>	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10
	08:10 - 10:00	10:00 - 10:15	08:10 - 10:00	10:00 - 10:15
	10:15 - 11:30	11:30 - 11:45	10:15 - 11:30	11:30 - 11:45
	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40
	12:40 - 14:00	-	12:40 - 14:00	-
<b>Tercer turno</b>	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10
	16:10 - 18:00	18:00 - 18:15	16:10 - 18:00	18:00 - 18:15
	18:15 - 19:30	19:30 - 19:45	18:15 - 19:30	19:30 - 19:45
	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40
	20:40 - 22:00	-	20:40 - 22:00	-

Tabla 66: Horario del Módulo de Pinturas (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España)

El horario de cada una de las líneas correspondientes al módulo de Pinturas es el que aparece en la tabla 67.

	Trim1		Trim2	
	Horario trabajo	Horario descanso	Horario trabajo	Horario descanso
<b>Primer turno</b>	22:00 - 00:00	00:00 - 00:10	22:00 - 00:00	00:00 - 00:10
	00:10 - 02:00	02:00 - 02:10	00:10 - 02:00	02:00 - 02:10
	02:10 - 04:00	04:00 - 04:15	02:10 - 04:00	04:00 - 04:15
	04:15 - 05:00	05:00 - 05:10	04:15 - 05:00	05:00 - 05:10
	05:10 - 06:00	-	05:10 - 06:00	-
<b>Segundo turno</b>	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10	06:00 - 08:00	08:00 - 08:10
	08:10 - 10:00	10:00 - 10:10	08:10 - 10:00	10:00 - 10:10
	10:10 - 11:30	11:30 - 11:45	10:10 - 11:30	11:30 - 11:45
	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40	11:45 - 12:30	12:30 - 12:40
	12:40 - 14:00	-	12:40 - 14:00	-
<b>Tercer turno</b>	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10	14:00 - 16:00	16:00 - 16:10
	16:10 - 18:00	18:00 - 18:10	16:10 - 18:00	18:00 - 18:10
	18:10 - 19:30	19:30 - 19:45	18:10 - 19:30	19:30 - 19:45
	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40	19:45 - 20:30	20:30 - 20:40
	20:40 - 22:00	-	20:40 - 22:00	-

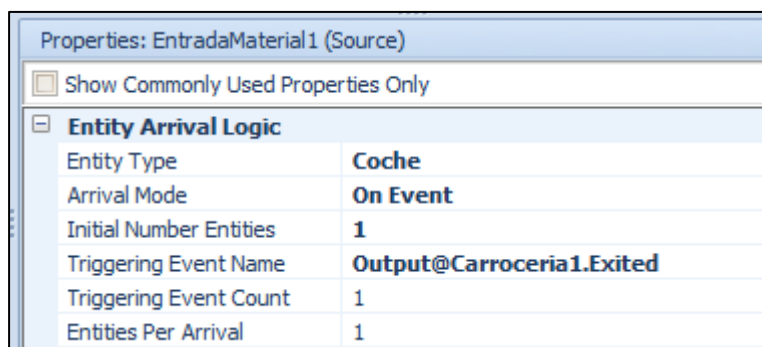
Tabla 67: Horario del Módulo de Trim (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España)

## Anexo V: Introducción datos EntradaMaterial1

Las características a actualizar en la EntradaMaterial1 son los siguientes:

- Arrival Mode: la llegada de los materiales y por tanto el abastecimiento de Carrocerías1 se realizará según un evento.
- Initial Number Entities: el número inicial de coches que se enviarán a Carrocerías1 será igual a 1.
- Triggering Event Name: el nombre del evento será [Output@Carroceria1.Exited](#). Esto quiere decir que cada vez que salga un coche del nodo output de Carrocerías1, un nuevo coche será enviado al input de Carrocerías1.

La introducción de dichas propiedades se muestra en la ilustración 102.



Properties: EntradaMaterial1 (Source)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] <b>Entity Arrival Logic</b>	
Entity Type	<b>Coche</b>
Arrival Mode	<b>On Event</b>
Initial Number Entities	<b>1</b>
Triggering Event Name	<b>Output@Carroceria1.Exited</b>
Triggering Event Count	1
Entities Per Arrival	1

**Ilustración 102: Propiedades EntradaMaterial1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

Además se debe tener en cuenta que todos los coches que se envían a Carrocerías1 son modelos Kuga, por lo que se identificará como tal en un proceso. Para ello, se determinará que el modelo Kuga será equivalente a que el valor del modelo en el programa sea 1.

Este proceso se ejecutará cada vez que un coche entre en el nodo de salida de EntradaMaterial1. El proceso se llamará AsignarModelo1 y lo que hará será darle a cada coche un valor de modelo igual a 1. (ver ilustración 103)

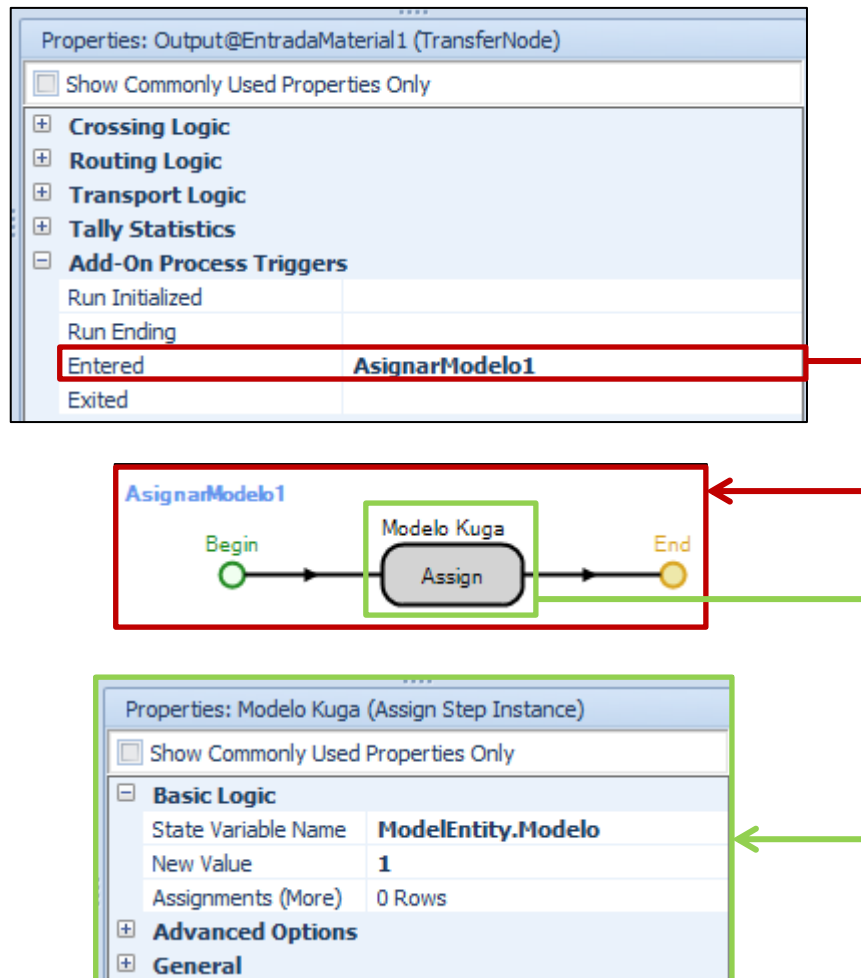


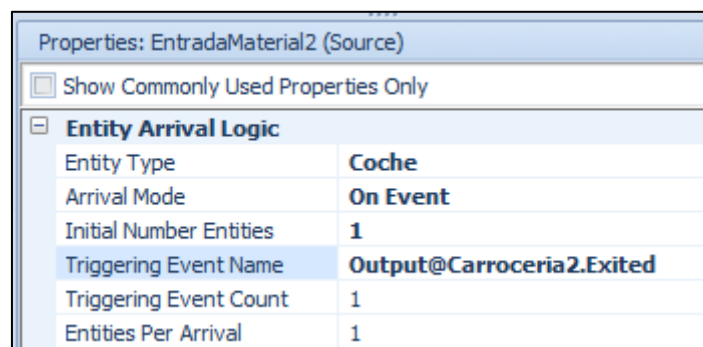
Ilustración 103: Proceso AsignarModelo1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## Anexo VI: Introducción datos EntradaMaterial2

Su funcionamiento será muy parecido al de la entrada de material 1. Solamente se diferenciará en que el modelo que se abastece desde esta entrada es el modelo Transit, al cual se le asignará el valor 2 y en que se enviará un coche cada vez que salga un coche del nodo de salida de la planta de Carrocerías2.

- Arrival Mode: la llegada de los materiales y por tanto el abastecimiento de Carrocerías2 se realizará según un evento.
- Initial Number Entities: el número inicial de coches que se enviarán a Carrocerías2 será igual a 1.
- Triggering Event Name: el nombre del evento será [Output@Carroceria2.Exited](#). Esto quiere decir que cada vez que salga un coche del nodo output de Carrocerías2, un nuevo coche será enviado al input de Carrocerías2.

La introducción de dichas propiedades se muestra en la ilustración 102.



Properties: EntradaMaterial2 (Source)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>Entity Arrival Logic</b>	
Entity Type	<b>Coche</b>
Arrival Mode	<b>On Event</b>
Initial Number Entities	<b>1</b>
Triggering Event Name	<b>Output@Carroceria2.Exited</b>
Triggering Event Count	<b>1</b>
Entities Per Arrival	<b>1</b>

Ilustración 104: Propiedades EntradaMaterial2 (elaboración a partir del programa de simulación SIMIO)

Además se debe tener en cuenta que todos los coches que se envían a Carrocerías2 son modelos Transit, por lo que se identificará como tal en un proceso. Para ello, se determinará que el modelo Transit será equivalente a que el valor del modelo en el programa sea 2.

Este proceso se ejecutará cada vez que un coche entre en el nodo de salida de EntradaMaterial2. El proceso se llamará AsignarModelo2 y lo que hará será darle a cada coche un valor de modelo igual a 2 (ver ilustración 105).

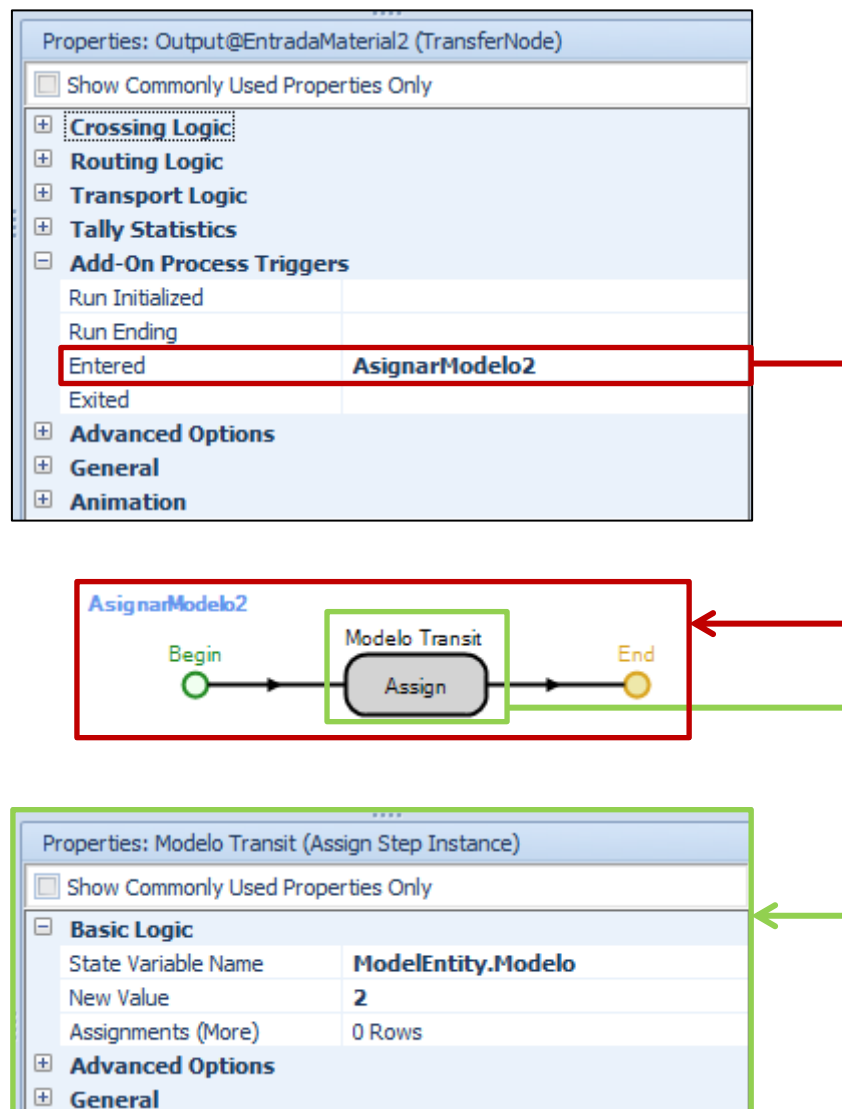


Ilustración 105: Proceso AsignarModelo2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

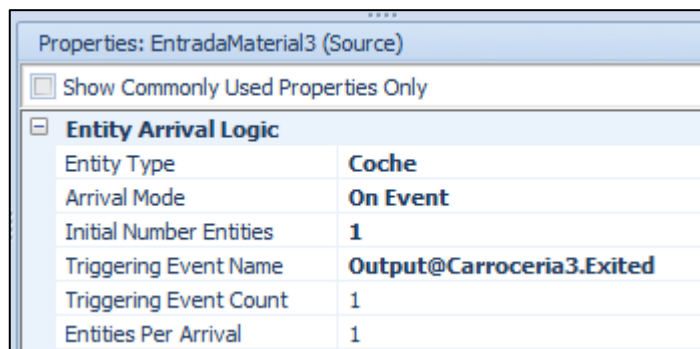


## Anexo VII: Introducción datos EntradaMaterial3

Esta entrada de material se encarga de abastecer la planta de Carrocerías3, en la cual se procesan tres modelos diferentes: Mondeo, S-Max y Galaxy. Las características de este elemento serán por tanto las siguientes:

- Arrival Mode: la llegada de los materiales y por tanto el abastecimiento de Carrocerías3 se realizará según un evento.
- Initial Number Entities: el número inicial de coches que se enviarán a Carrocerías3 será igual a 1.
- Triggering Event Name: el nombre del evento será [Output@Carroceria3.Exited](#). Esto quiere decir que cada vez que salga un coche del nodo output de Carrocerías2, un nuevo coche será enviado al input de Carrocerías3.

La introducción de dichas propiedades se muestra en la ilustración 106.



Properties: EntradaMaterial3 (Source)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>Entity Arrival Logic</b>	
Entity Type	<b>Coche</b>
Arrival Mode	<b>On Event</b>
Initial Number Entities	<b>1</b>
Triggering Event Name	<b>Output@Carroceria3.Exited</b>
Triggering Event Count	1
Entities Per Arrival	1

Ilustración 106: Propiedades EntradaMaterial3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

En este caso, se debe dar diferentes valores para el modelo de cada coche dependiendo de si se trata de un modelo Mondeo, S-Max o Galaxy. El valor del modelo de cada coche se asignará en un proceso que se ejecutará cada vez que entre un coche en el nodo de salida de EntradaMaterial3. Así pues, los valores que se asignarán a cada uno de ellos en el proceso se muestran en la tabla 68.

<b>Modelo</b>	<b>Valor asignado ModelEntity.Modelo</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
Mondeo	3	61,42%	61,42%
S-Max	4	26,19%	87,61%
Galaxy	5	12,39%	100,00%

**Tabla 68: Mix de Producción EntradaMaterial3 (elaboración propia a partir de información aportada por la empresa Ford España)**

El proceso se ejecutará de la misma manera que en los dos casos anteriores (ver ilustración 107). Las diferencias se darán en el proceso AsignarModelo3 ya que habrá que asignar diferentes valores según la proporción de los coches de cada modelo que entran en el sistema.

El nuevo valor de ModelEntity.Modelo se asignará según una distribución discreta. La distribución discreta es una distribución empírica definida por un conjunto de pares de valores y la probabilidad acumulada de que se obtenga cada uno de ellos. Estos pares de valores definen una función acumulativa lineal de distribución de una variable aleatoria discreta. Esta distribución se utiliza típicamente para asignar aleatoriamente valores discretos a un estado.

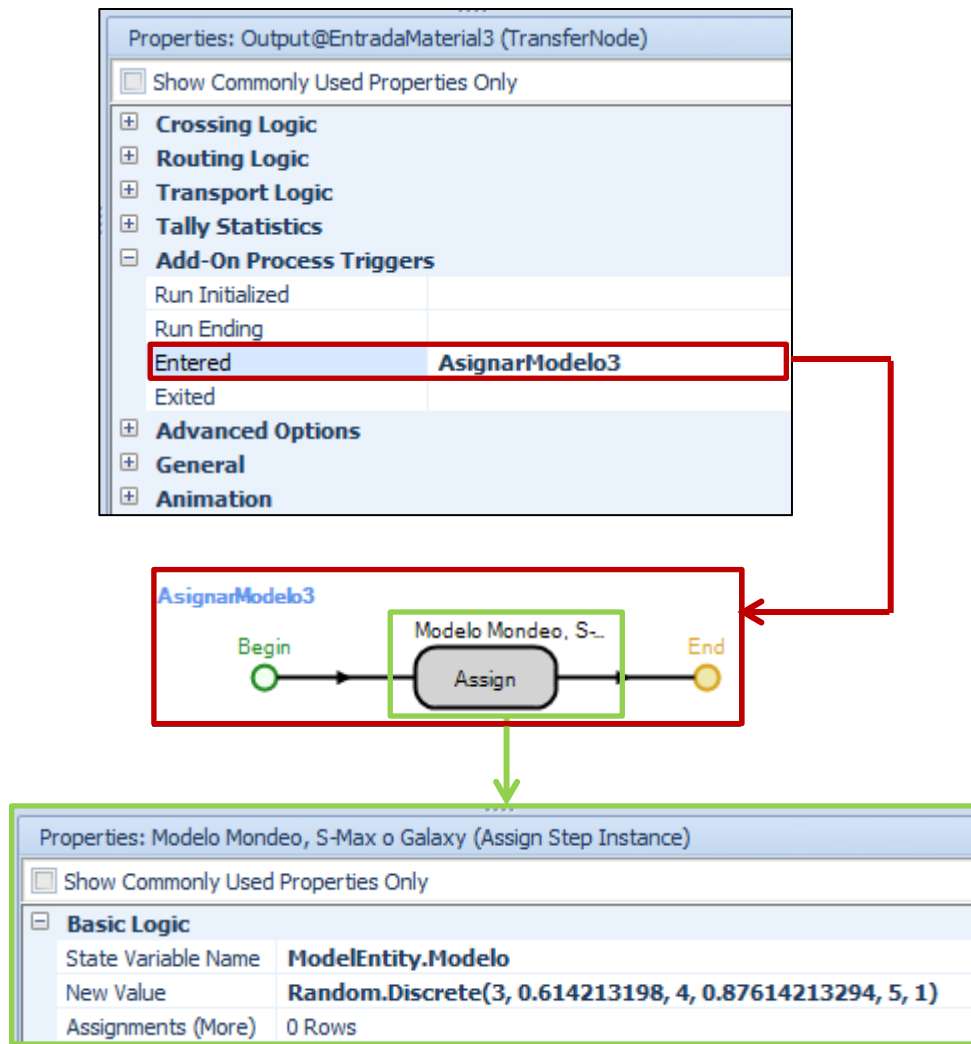


Ilustración 107: Proceso AsignarModelo3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

### Anexo VIII: Introducción datos Horario Carrocerías2 y Carrocerías3

Se realiza el mismo proceso que en el horario de Carrocerías 1 (apartado 5.2.2) para el horario diario de Carrocerías2 y Carrocerías3, que como comparten horario se pueden resumir en uno solo, el cual se llamará Carroceria2y3Day. La introducción de este horario en el programa de simulación SIMIO aparece reflejado en la ilustración 108.

Work Schedules						
Name	Description	Category				
Carroceria1Day						
Carroceria2y3Day						
Work Periods						
Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description	
0:10	110 minutes	2:00	1	1		
2:10	110 minutes	4:00	1	1		
4:15	45 minutes	5:00	1	1		
5:10	170 minutes	8:00	1	1		
8:10	110 minutes	10:00	1	1		
10:10	80 minutes	11:30	1	1		
11:45	45 minutes	12:30	1	1		
12:40	200 minutes	16:00	1	1		
16:10	110 minutes	18:00	1	1		
18:10	80 minutes	19:30	1	1		
19:45	45 minutes	20:30	1	1		
20:40	200 minutes	0:00	1	1		

Ilustración 108: Introducción Horario Diario Carrocería2 y Carrocería3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## Anexo IX: Introducción datos Carrocerías2

Properties: Carroceria2 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] <b>Process Logic</b>	
Capacity Type	WorkSchedule
⊕ Work Schedule	Carroceria2y3Week
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
⊕ Transfer-In Time	0.0
[-] Processing Time	DatosCarrocerias[2].TiempoDeCiclo
Units	Seconds
⊕ <b>Buffer Capacities</b>	
[-] <b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	Processing Time Based
[-] Uptime Between Failures	DatosCarrocerias[2].MTBF
Units	Minutes
[-] Time To Repair	DatosCarrocerias[2].MTTR
Units	Minutes

Planta Carrocería
Tiempo de Ciclo
MTBF
MTTR

Ilustración 109: Propiedades Carrocería2 (elaboración propia partir del programa de simulación SIMIO)

### Anexo X: Introducción datos Carrocerías3

Properties <b>Carroceria3 (Server)</b>	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] <b>Process Logic</b>	
Capacity Type	<b>WorkSchedule</b>
[-] Work Schedule	<b>Carroceria2y3Week</b>
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
[-] Transfer-In Time	0.0
[-] Processing Time	<b>DatosCarrocerias[3].TiempoDeCiclo</b>
Units	<b>Seconds</b>
[-] <b>Buffer Capacities</b>	
[-] <b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	<b>Processing Time Based</b>
[-] Uptime Between Failures	<b>DatosCarrocerias[3].MTBF</b>
Units	<b>Minutes</b>
[-] Time To Repair	<b>DatosCarrocerias[3].MTTR</b>
Units	<b>Minutes</b>

Planta Carrocería
Tiempo de Ciclo
MTBF
MTTR

Ilustración 110: Propiedades Carrocería3 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## Anexo XI: Introducción datos Pinturas

En primer lugar, hay que introducir el horario de trabajo de las dos plantas de pinturas de la misma manera que se realizó el proceso con las plantas de carrocerías. El horario de trabajo establecido será el mismo que se propuso en el apartado 4.1.3. Pinturas de este mismo proyecto. Para introducir el horario se creará una nueva tabla en el apartado Data >> Schedules >> Day Patterns que se llamará PinturasDay tal y como se muestra en la ilustración 111.

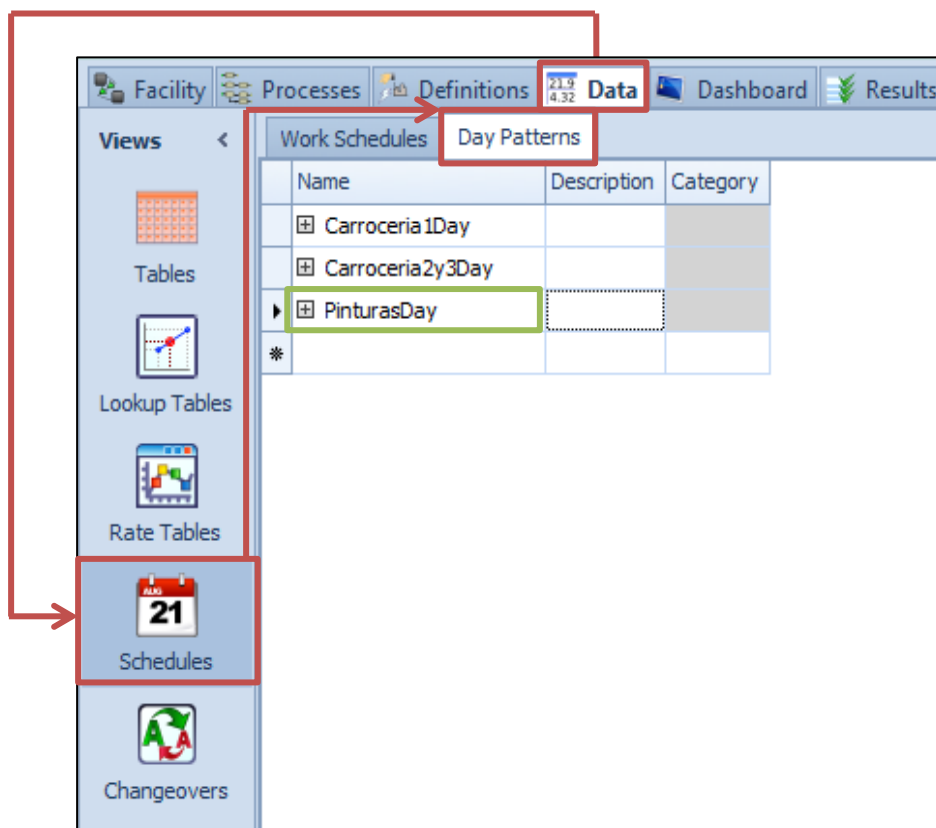
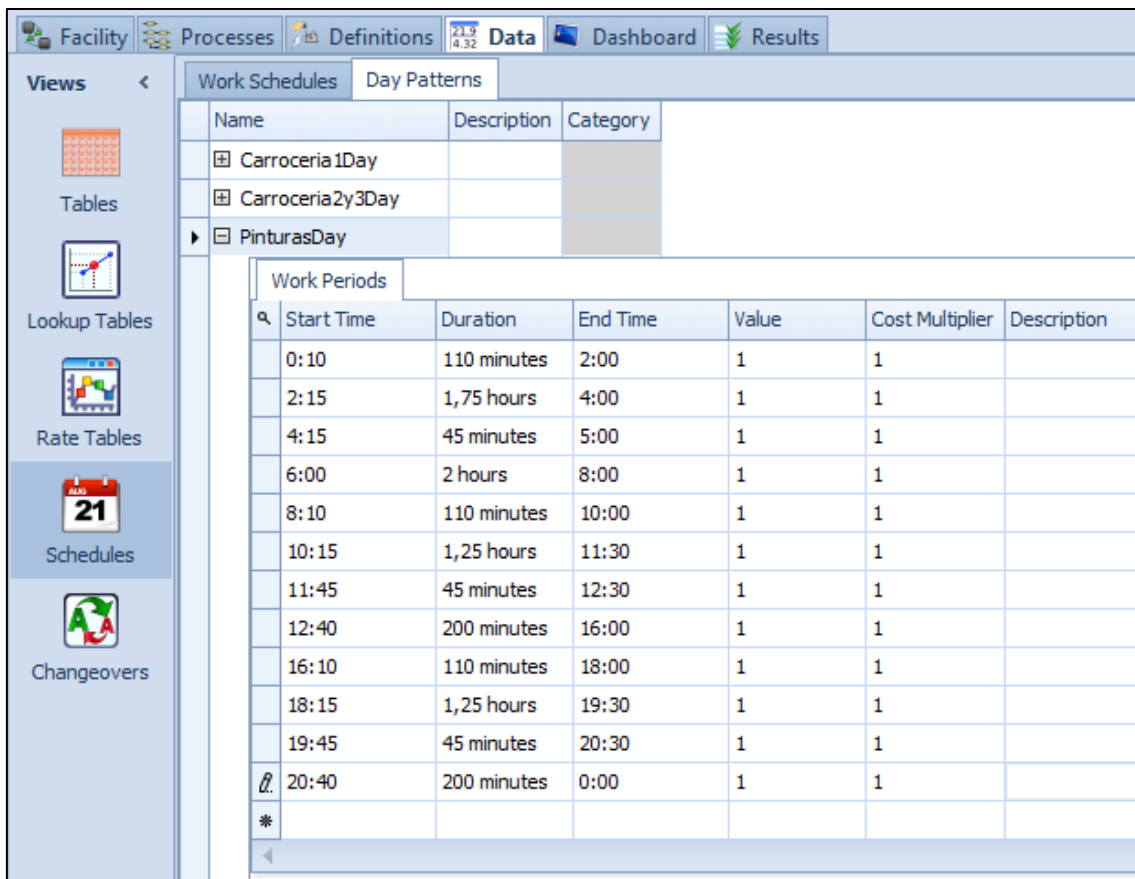


Ilustración 111: Creación Horarios Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

En este horario diario se introducen los datos propuestos en el apartado 4.1.3. Pinturas de este proyecto. Como el horario es el mismo para las dos plantas de pintura, se puede crear un solo modelo de horario diario y asignárselo a ambas plantas (ver ilustración 112).



Name	Description	Category
Carroceria1Day		
Carroceria2y3Day		
PinturasDay		

Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description
0:10	110 minutes	2:00	1	1	
2:15	1,75 hours	4:00	1	1	
4:15	45 minutes	5:00	1	1	
6:00	2 hours	8:00	1	1	
8:10	110 minutes	10:00	1	1	
10:15	1,25 hours	11:30	1	1	
11:45	45 minutes	12:30	1	1	
12:40	200 minutes	16:00	1	1	
16:10	110 minutes	18:00	1	1	
18:15	1,25 hours	19:30	1	1	
19:45	45 minutes	20:30	1	1	
20:40	200 minutes	0:00	1	1	
*					

**Ilustración 112: Introducción Horario Diario Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

A continuación, se crea un horario semanal en Data >> Schedules >> Work Schedules que será el mismo para las dos plantas de pintura. En él se crea un horario al que se le asigna que cada día se trabaja según el horario PinturasDay visto anteriormente. Este proceso se muestra en la ilustración 113.



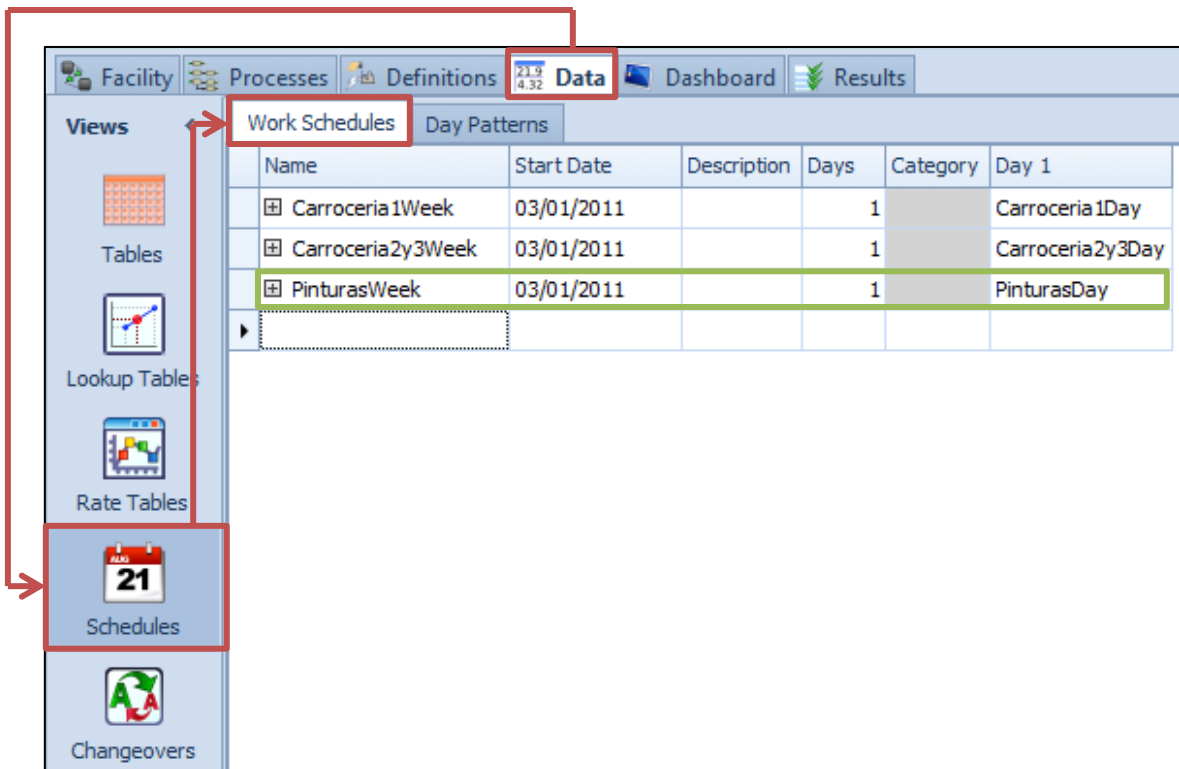


Ilustración 113: Introducción Calendario Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Por último, queda asignar estos horarios a cada una de las plantas de pinturas. Esto se realizará siguiendo el mismo proceso que en las plantas de carrocerías, diciendo que el Capacity Type seguirá un WorkSchedule y asignándole el horario de PinturasWeek a ambas plantas (ver ilustración 114).

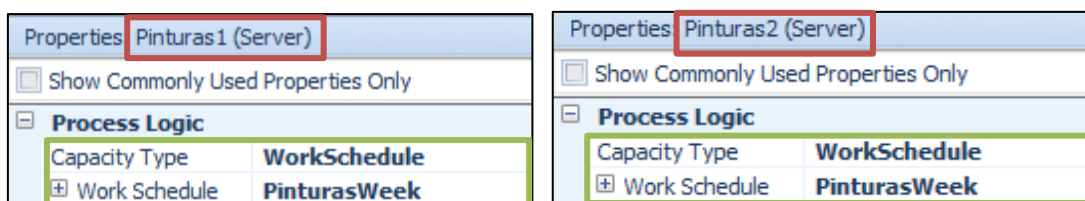


Ilustración 114: Propiedades Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Una vez finalizada la introducción de los datos relativos a los horarios de funcionamiento de las dos líneas de pinturas ya se pueden introducir los datos relativos al tiempo de ciclo que se quiere obtener en cada una de ellas en función del mix diario requerido por la Ford. En la misma tabla donde se reflejan los tiempos de ciclo se introducirán también los datos del tiempo medio entre reparaciones y el tiempo medio de reparación en cada una de las plantas de carrocerías. Estos datos se introducen en Data >> Tables >> Add Data Table tal y como se muestra en la ilustración 115.

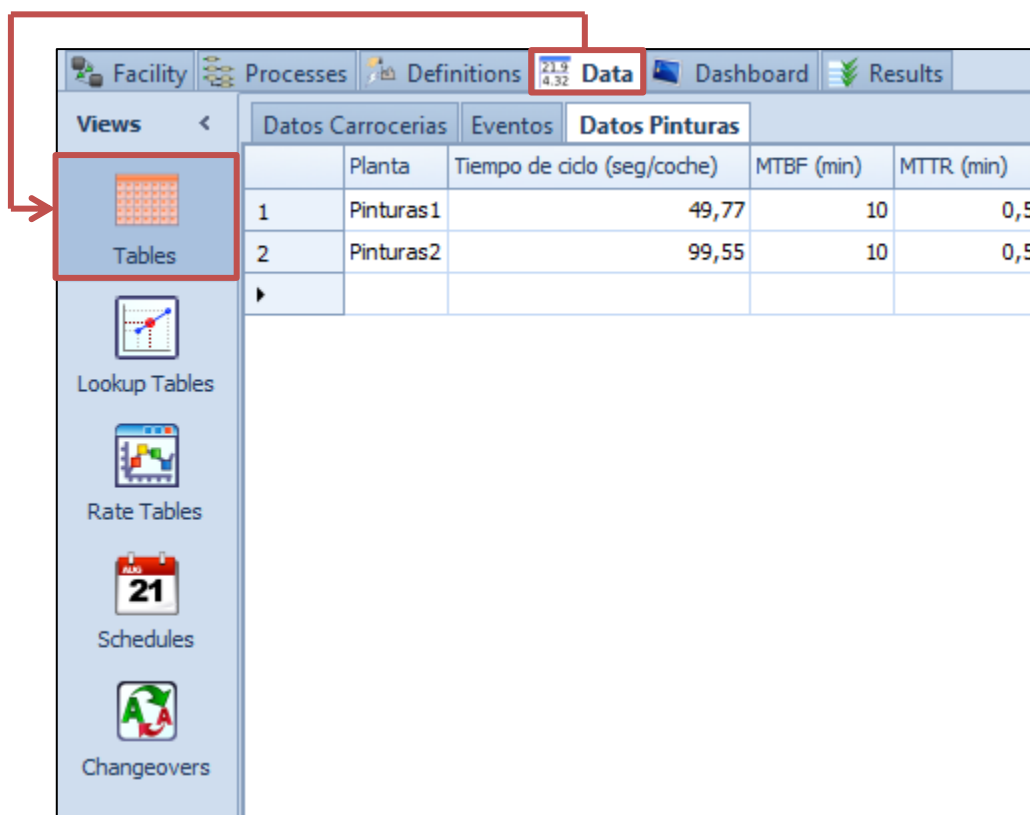


Ilustración 115: Introducción Tabla Datos Pinturas (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Una vez introducidos estos datos en el programa de simulación, se han de asignar a las diferentes líneas de pinturas para que trabajen con estos datos.

En primer lugar se asignan los datos correspondientes de la tabla al servidor de Pinturas1 (ver ilustración 116):

Properties: Pinturas1 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	WorkSchedule
Work Schedule	PinturasWeek
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	DatosPinturas[1].TiempoDeCiclo
Units	Seconds
<b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	Processing Time Based
Uptime Between Failures	DatosPinturas[1].MTBF
Units	Minutes
Time To Repair	DatosPinturas[1].MTTR
Units	Minutes

Planta Pinturas

Tiempo de Ciclo

MTBF

MTTR

Ilustración 116: Propiedades Pinturas1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Se realiza el mismo proceso con la planta de Pinturas2 para asignarle los datos correspondientes a la misma (ver ilustración 117):

Properties: Pinturas2 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	WorkSchedule
Work Schedule	PinturasWeek
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	DatosPinturas[2].TiempoDeCiclo
Units	Seconds
<b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	Processing Time Based
Uptime Between Failures	DatosPinturas[2].MTBF
Units	Minutes
Time To Repair	DatosPinturas[2].MTTR
Units	Minutes

Planta Pinturas

Tiempo de Ciclo

MTBF

MTTR

Ilustración 117: Propiedades Pinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

De esta manera, se han introducido todos los datos necesarios para el correcto funcionamiento de la maquinaria de las líneas de pinturas. Por otro lado, se deben aportar los datos que decidan a qué parte del almacén de ASRS tiene que ir destinado cada uno de los modelos de coches y también cual es el proceso que define que coches son demandados en cada momento del almacén de BIW para que estos sean pintados.

El almacén ASRS se divide en cinco partes, una dedicada para cada uno de los modelos, siendo la distribución de modelos la que aparece en la tabla 69.

Parte de almacén ASRS	Modelo	Valor asignado ModelEntity.Modelo
ASRS1	Kuga	1
ASRS2	Transit	2
ASRS3	Mondeo	3
ASRS4	S-Max	4
ASRS5	Galaxy	5

Tabla 69: Clasificación ASRS (elaboración propia)

De esta manera cuando un coche del modelo Kuga sea pintado en alguna de las líneas de pintura, este deberá ser enviado a la parte del almacén ASRS1. Cuando un coche del modelo Transit sea pintado en la línea de pintura 2, este se enviará a la parte del almacén ASRS2. Y así sucesivamente hasta cumplir con el envío de todos los modelos a sus almacenes correspondientes.

El proceso de envío de coches a su almacén ASRS correspondiente se ejecutará cada vez que un coche entre en el nodo de salida de alguna de las líneas de pinturas (Output@Pinturas1 y Output@Pinturas2) tal y como se muestra en la ilustración 118.

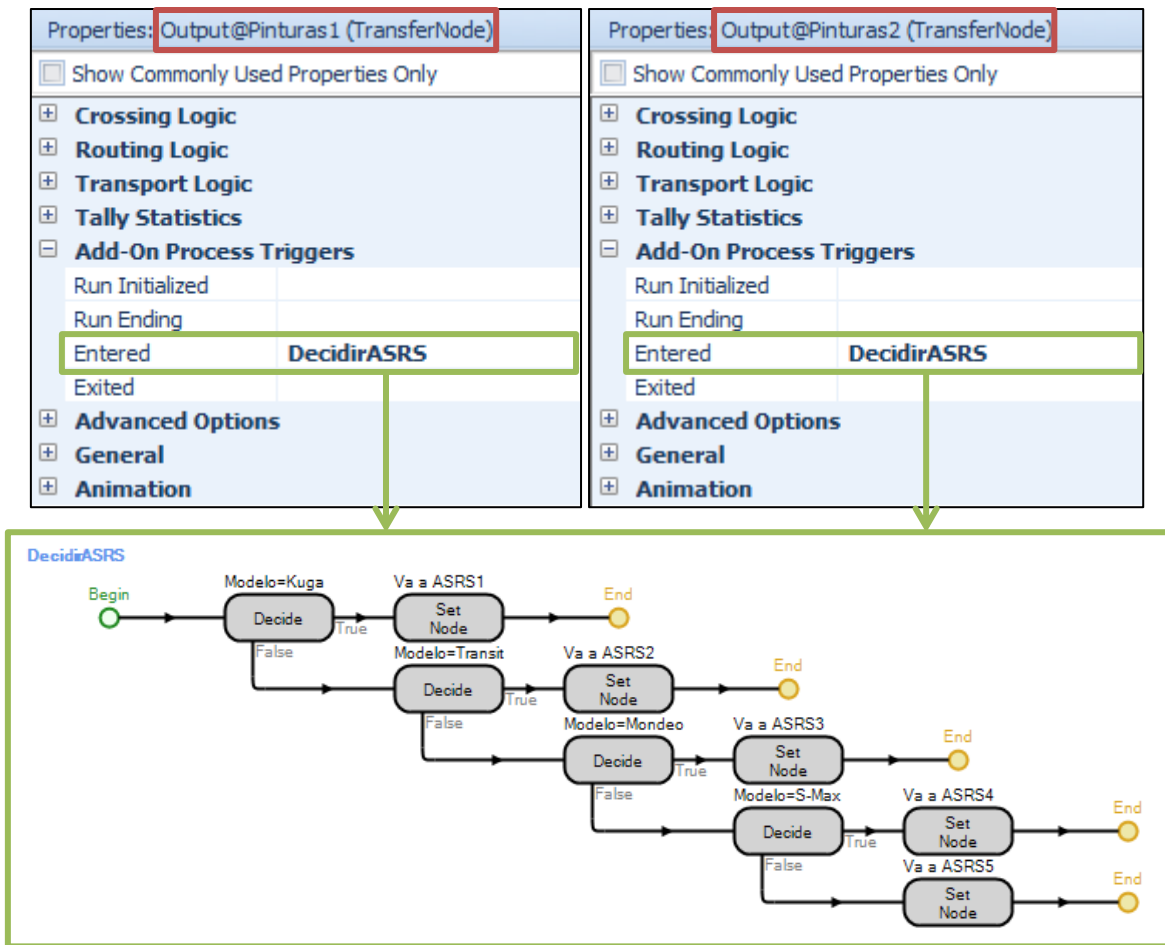


Ilustración 118: Proceso DecidirASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Con esto se realizará un correcto envío de los coches a su parte del almacén ASRS correspondiente para cada modelo.

## Anexo XII: Procesos Línea de Pinturas2

La definición del proceso ActualizarProduccionPinturas para la línea de Pinturas2 en el programa de simulación SIMIO aparece en la ilustración 119.

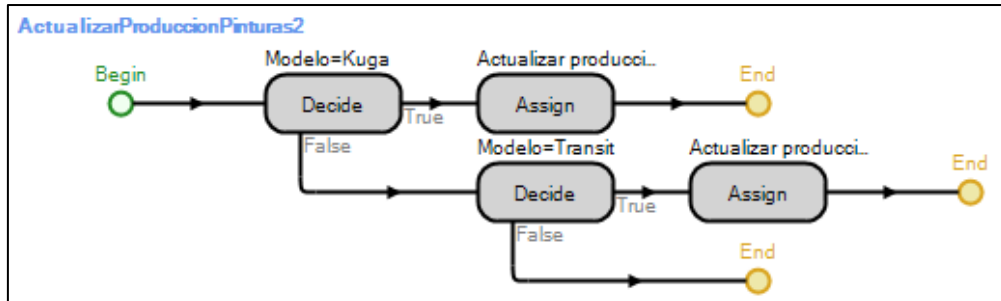


Ilustración 119: Proceso ActualizarProduccionPinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

La definición del proceso DemandaPinturas para la línea de Pinturas2 en el programa de simulación SIMIO aparece en la ilustración 120.

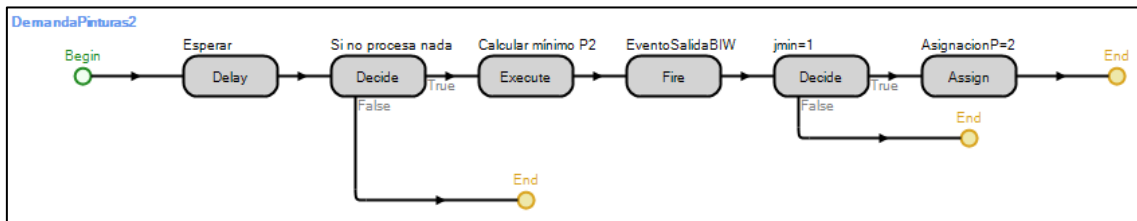


Ilustración 120: Proceso DemandaPinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

La definición del proceso CalcularMínimoPinturas para la línea de Pinturas2 en el programa de simulación SIMIO aparece en la ilustración 121.

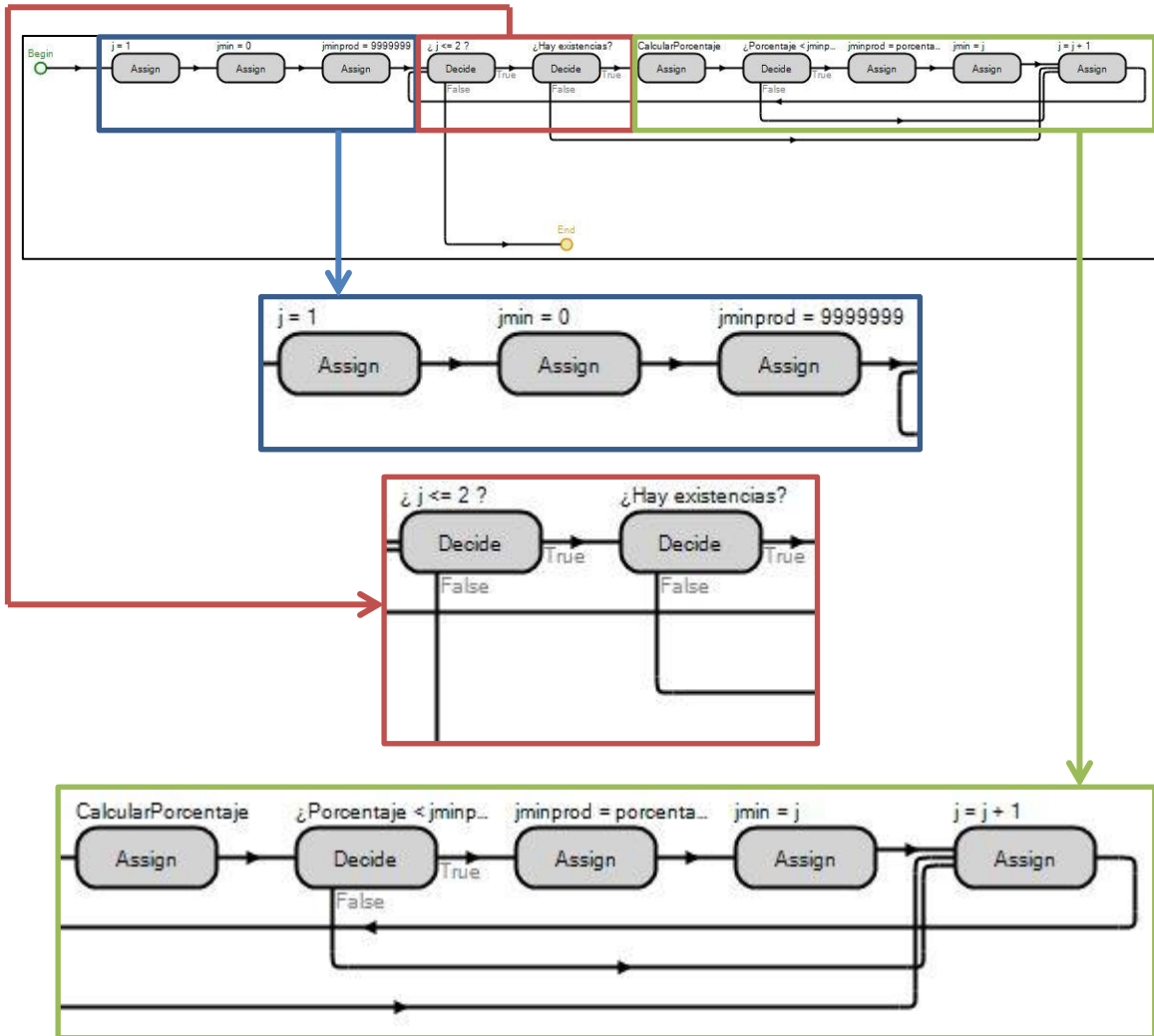


Ilustración 121: Proceso CalcularMínimoPinturas2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## Anexo XIII: Introducción datos Automatic Storage Retrieval System (ASRS)

Dado que se trata de un almacén, se le asignará un tiempo de procesado igual a cero y para que simule el funcionamiento de un almacén y se le da una capacidad infinita a su almacén de entrada y capacidad nula al almacén de salida, de la misma manera que se ha realizado con las partes de almacén BIW (ver ilustración 122).

Properties: ASRS1 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] <b>Process Logic</b>	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	1
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
+ [-] Transfer-In Time	0.0
+ [-] Processing Time	0
[-] <b>Buffer Capacities</b>	
Input Buffer	Infinity
Output Buffer	0
+ [-] <b>Reliability Logic</b>	
+ [-] <b>State Assignments</b>	
+ [-] <b>Secondary Resources</b>	
+ [-] <b>Financials</b>	

Parte de almacén ASRS

Tiempo de Procesamiento

Capacidad almacén

Ilustración 122: Propiedades ASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

Estos mismos datos se introducirán en las otras partes del almacén de Automatic Storage Retrieval System (ASRS2, ASRS3, ASRS4 y ASRS5).



## Anexo XIV: Proceso SalidaASRS

Además, se va a proponer que la salida de un coche de cada uno de los almacenes se produzca cada vez que se ejecute un evento. Para ello se dice en cada almacén que después de ser procesado, el coche deberá esperar hasta que el evento SalirASRS se ejecute.

El primer paso es crear los eventos para después poder decir que los coches esperen a salir del almacén hasta que esos eventos sucedan. La creación de estos eventos se realiza en Definitions >> Events tal y como se muestra en la ilustración 123.

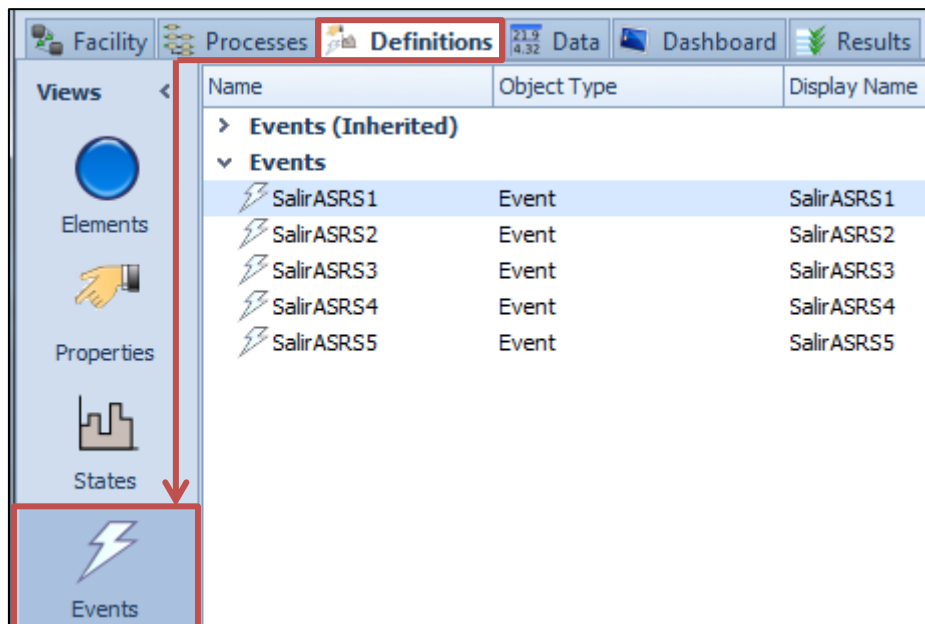


Ilustración 123: Introducción Eventos SalirASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Se crea una tabla que contenga estos eventos de la misma manera que se hizo en el almacén BIW para que sea más fácil su asignación a los procesos de cada parte del almacén y se crean también los procesos que hagan los coches esperar hasta que dicho evento se ejecute (ver ilustración 124).

	Salida BIW	Existencias BIW	Salida ASRS
1	SalirBIW1	BIW1.Processing.Contents	SalirASRS1
2	SalirBIW2	BIW2.Processing.Contents	SalirASRS2
3	SalirBIW3	BIW3.Processing.Contents	SalirASRS3
4	SalirBIW4	BIW4.Processing.Contents	SalirASRS4
5	SalirBIW5	BIW5.Processing.Contents	SalirASRS5

Ilustración 124: Introducción Tabla Eventos SalidaASRS (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

El ejemplo del proceso que se asignará a cada parte del almacén así como su asignación se muestra a continuación en la ilustración 125 con el caso de la parte del almacén correspondiente al modelo Kuga (ASRS1):

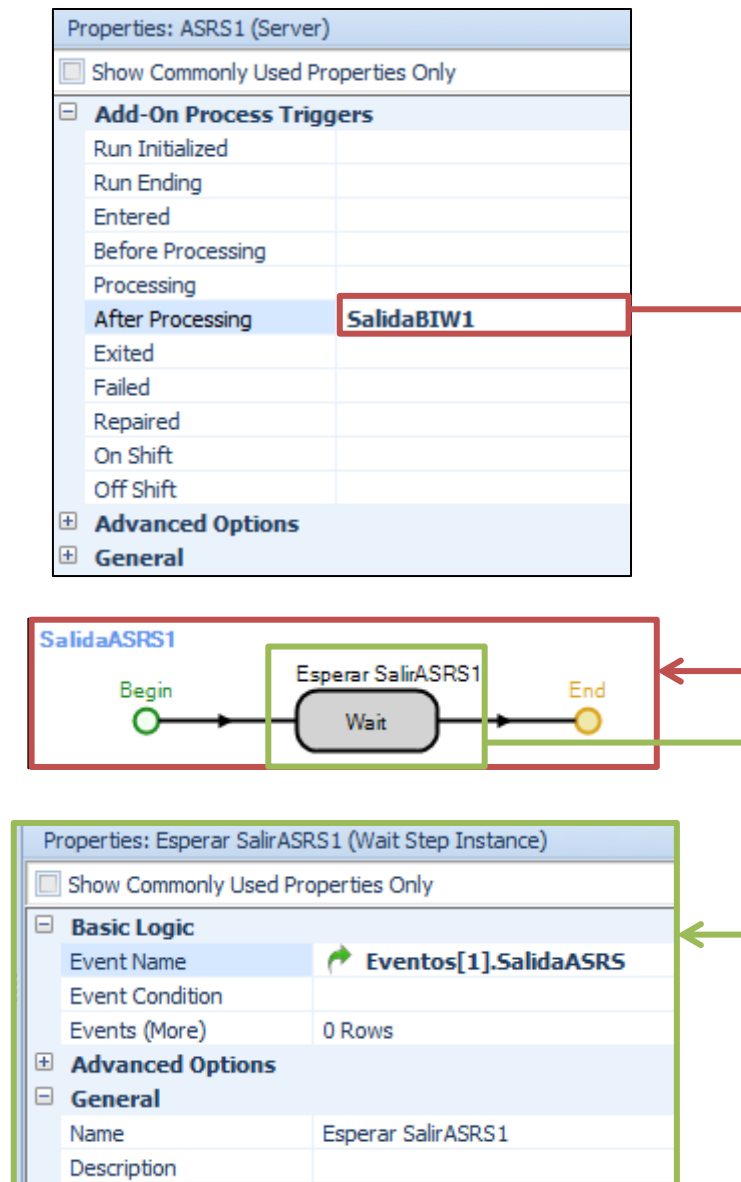


Ilustración 125: SalidaASRS1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

## Anexo XV: Introducción datos Trim

En primer lugar, hay que introducir el horario de trabajo de las dos líneas de Trim de la misma manera que se ha realizado anteriormente para las plantas de carrocerías y pinturas. El horario de trabajo establecido para estas líneas será el reflejado en el apartado 4.1.5.Trim. Para introducir el horario se creará una nueva tabla en el apartado Data >> Schedules >> Day Patterns que se llamará TrimDay como se muestra en la ilustración 126.

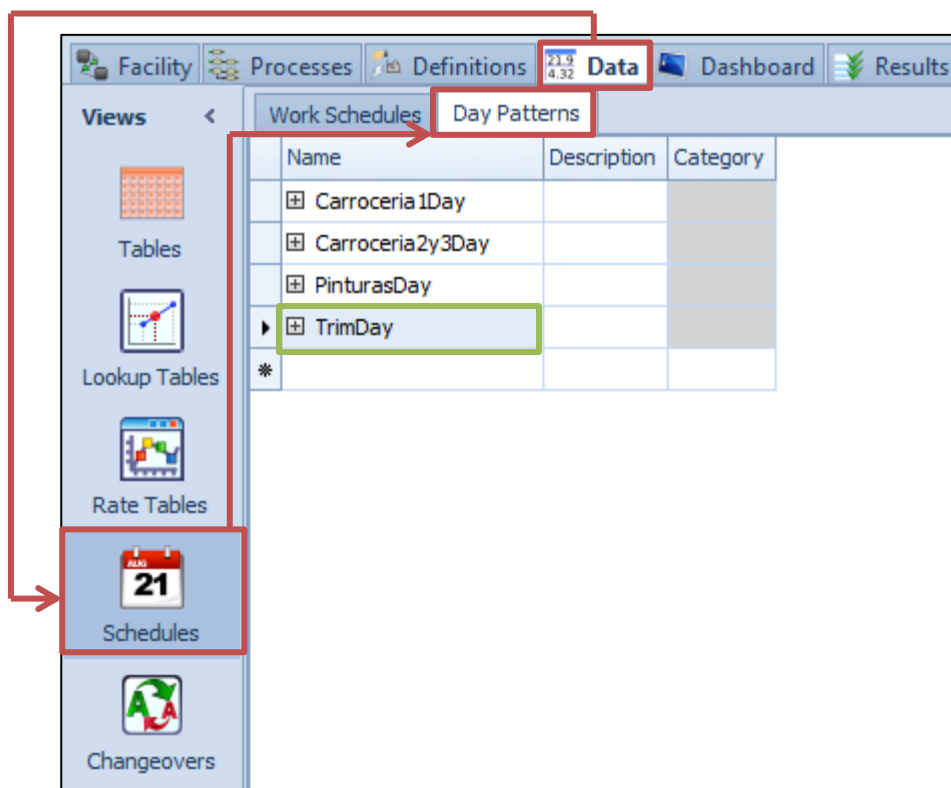


Ilustración 126: Creación Horarios Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Como el horario es el mismo para las dos líneas de Trim se creará un solo modelo de horario diario y se asignará a ambas líneas.

Una vez finalizada la introducción de los datos relativos a los horarios de funcionamiento de las dos líneas de Trim ya se pueden introducir los datos relativos al tiempo de ciclo que se quiere obtener en cada una de ellas en función del mix diario requerido por la Ford. En la misma tabla donde se reflejan los tiempos de ciclo se introducirán también los datos del tiempo medio entre reparaciones y el tiempo medio de reparación en cada una de las plantas de carrocerías. Estos datos se introducen en Data >> Tables >> Add Data Table como se muestra en la ilustración 127.

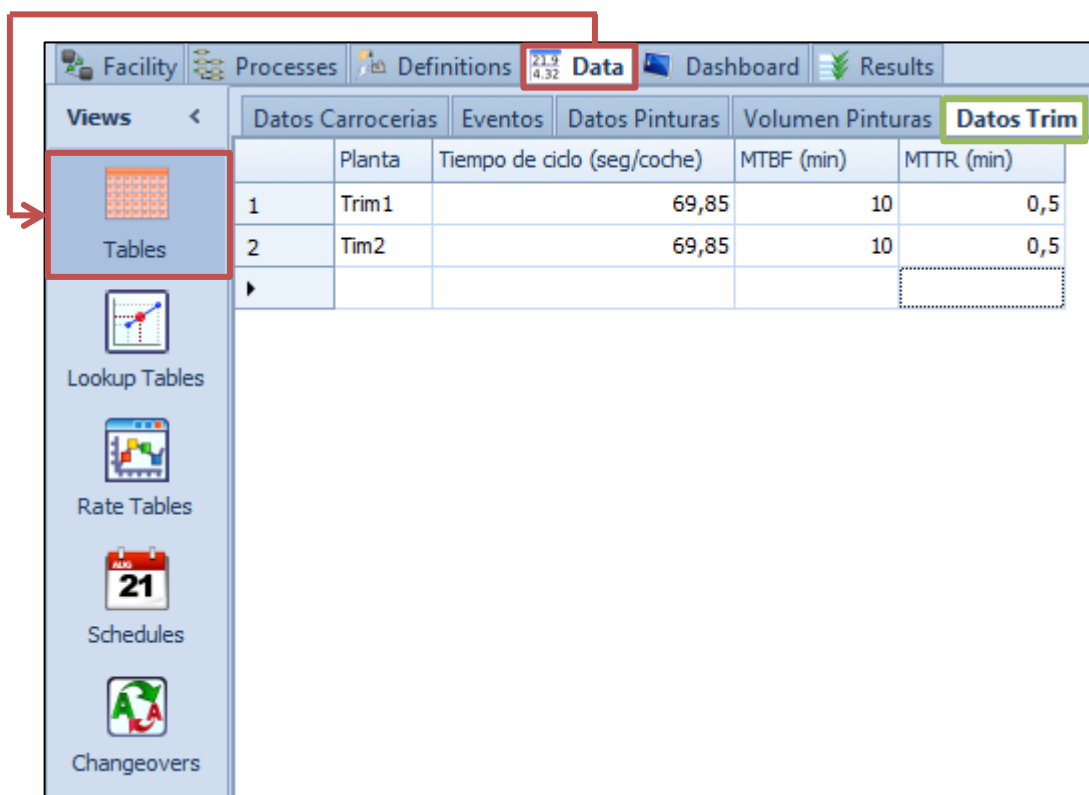


Ilustración 127: Introducción Tabla Datos Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Una vez introducidos estos datos en el programa de simulación, se han de asignar los mismos a las diferentes líneas de Trim para que trabajen con estos datos.

En primer lugar se asignan los datos correspondientes de la tabla al servidor de Trim1 (ver ilustración 128).

Properties Trim1 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	WorkSchedule
Work Schedule	TrimWeek
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	DatosTrim[1].TiempoDeCiclo
Units	Seconds
<b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	Processing Time Based
Uptime Between Fail...	DatosTrim[1].MTBF
Units	Minutes
Time To Repair	DatosTrim[1].MTTR
Units	Minutes

Planta Trim

Tiempo de Ciclo

MTBF

MTTR

Ilustración 128: Propiedades Trim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

Se realiza el mismo proceso con la planta de Trim2 para asignarle los datos correspondientes a la misma (ver ilustración 129):

Properties Trim2 (Server)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	WorkSchedule
Work Schedule	TrimWeek
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	DatosTrim[2].TiempoDeCiclo
Units	Seconds
<b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	Processing Time Based
Uptime Between Fail...	DatosTrim[2].MTBF
Units	Minutes
Time To Repair	DatosTrim[2].MTTR
Units	Minutes

Planta Trim

Tiempo de Ciclo

MTBF

MTTR

Ilustración 129: Propiedades Trim2 (elaboración propia a partir del programa de simulación

SIMIO)

De esta manera, se han introducido todos los datos necesarios para el correcto funcionamiento de la maquinaria de las líneas de Trim.

Name	Description	Category
Carroceria1Day		
Carroceria2y3Day		
PinturasDay		
TrimDay		

Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description
0:10	110 minutes	2:00	1	1	
2:10	110 minutes	4:00	1	1	
4:15	45 minutes	5:00	1	1	
5:10	170 minutes	8:00	1	1	
8:10	110 minutes	10:00	1	1	
10:10	80 minutes	11:30	1	1	
11:45	45 minutes	12:30	1	1	
12:40	200 minutes	16:00	1	1	
16:10	110 minutes	18:00	1	1	
18:10	80 minutes	19:30	1	1	
19:45	45 minutes	20:30	1	1	
20:40	200 minutes	0:00	1	1	

**Ilustración 130: Introducción Horario Diario Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

A continuación, se crea un horario semanal en Data >> Schedules >> Work Schedules que será el mismo para las dos líneas de Trim tal y como se muestra en la ilustración 131. En él se crea un horario al que se le asigna que cada día se trabaja según el horario TrimDay visto anteriormente (ver ilustración 130).

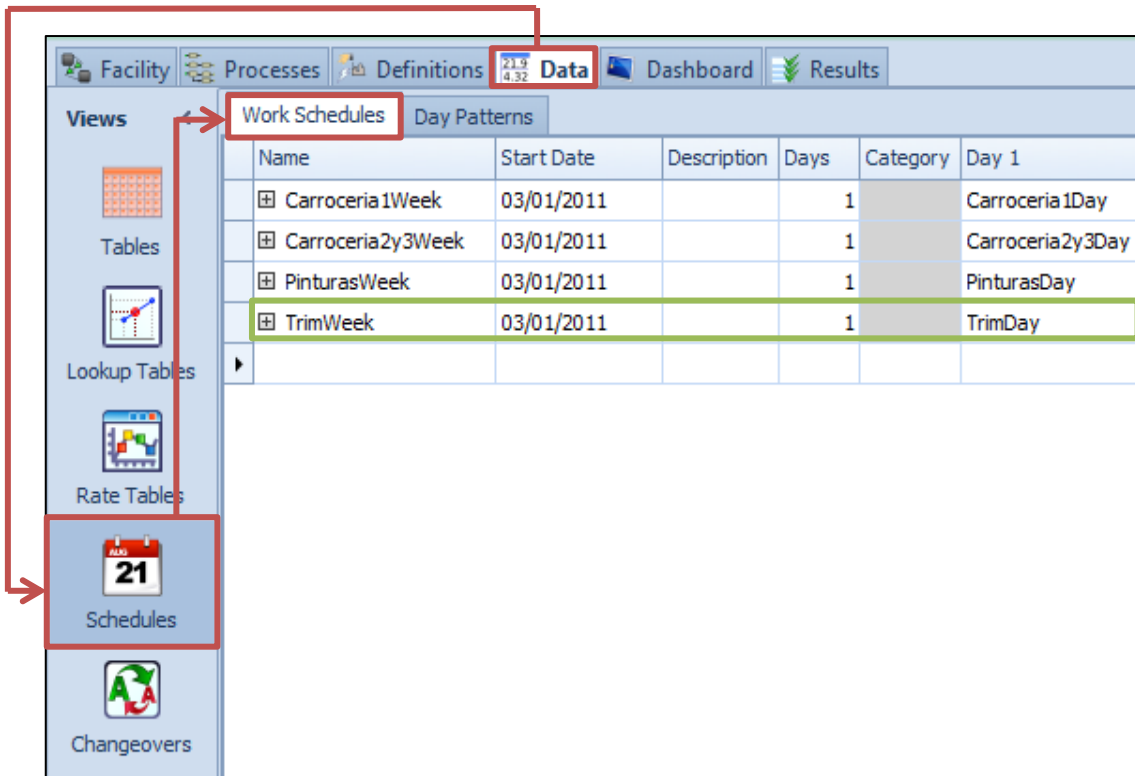


Ilustración 131: Introducción Calendario Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

Por último, queda asignar estos horarios a cada una de las líneas de Trim. Esto se realizará siguiendo el mismo proceso que en las plantas de carrocerías y en las de pinturas, diciendo que el Capacity Type seguirá un WorkSchedule y asignándole el horario de TrimWeek a ambas plantas. (ver ilustración 132)

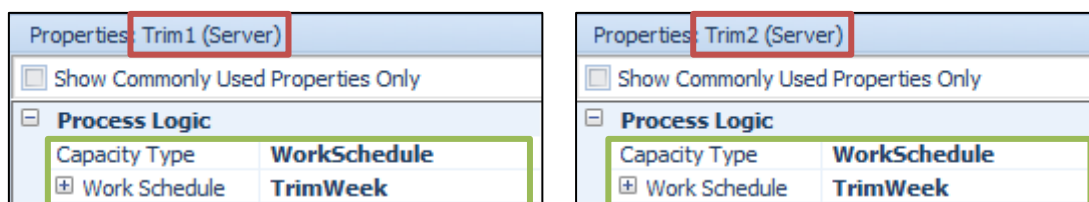


Ilustración 132: Propiedades Trim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)



## Anexo XVI: Procesos Módulo de Trim

### Proceso ActualizarProduccionTrim

Para poder calcular el porcentaje de los vehículos de cada modelo que quedan por procesar a lo largo de un día, en primer lugar se tiene que poder contabilizar cuantos vehículos de cada modelo se han procesado en las líneas de Trim.

Para ello, se crean dos contadores, uno para cada línea de Trim, que realice esta contabilidad constantemente a lo largo de la simulación. Los contadores se definirán en el apartado de “estados” como un vector de tamaño 5, en el que en la primera posición se refiera al modelo Kuga (modelo=1), la segunda posición al modelo Transit (modelo=2) y así sucesivamente. La relación entre la posición del vector y el modelo aparece en la tabla 70.

Posición vector	Modelo	Valor asignado ModelEntity.Modelo
1	Kuga	1
2	Transit	2
3	Mondeo	3
4	S-Max	4
5	Galaxy	5

Tabla 70: Correspondencia Posición Vector ProduccionTrim (elaboración propia)

La definición de los vectores se realiza en el apartado Definitions >> States >> Real y se les da una dimensión de tipo vector de tamaño 5, asignándole a su vez el nombre escogido para el vector (ver ilustración 133). Los vectores recibirán el nombre de ProduccionTrim1 y ProduccionTrim2 para las líneas de Trim 1 y 2 respectivamente.

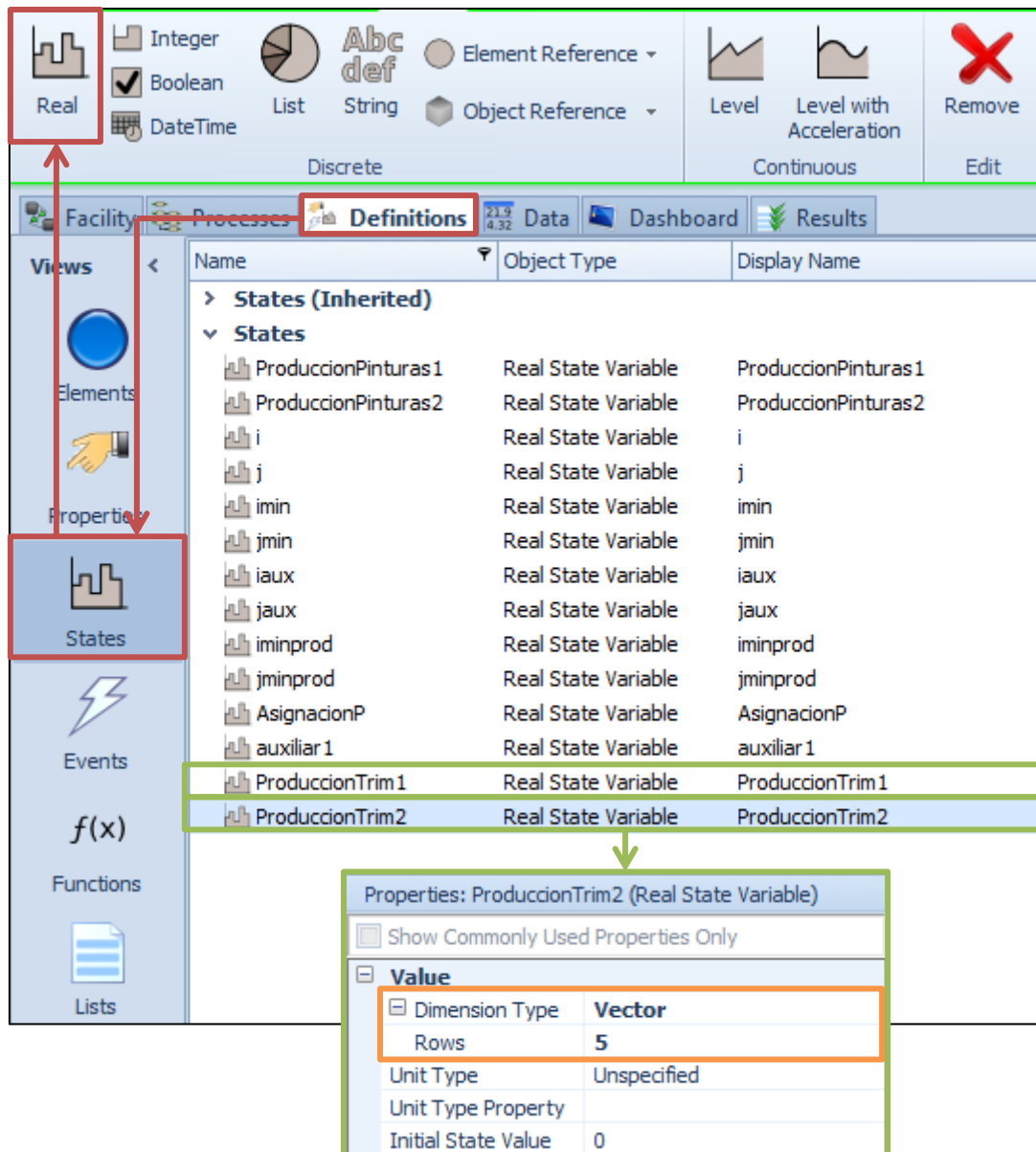


Ilustración 133: Definición Estados ProduccionTrim (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

El proceso de ActualizarProduccionTrim comprobará de qué modelo es el vehículo que se ha procesado e incrementará en 1 el valor del vector ProduccionTrim correspondiente a la línea de Trim en la que se encuentra. De esta manera se conoce a tiempo real cuantas unidades se han producido de cada modelo en las diferentes líneas de Trim. Esto se realizará en el proceso de ActualizarTrim1 para la línea Trim1 y el proceso ActualizarTrim2 para la línea Trim2.

Se muestra en la ilustración 134 el proceso de ActualizarProduccionTrim para la línea de Trim1 una vez se introduce en el programa de simulación SIMIO. En el caso de Trim2 se realiza el mismo proceso pero haciendo que el vector a actualizar sea ProduccionTrim2 en vez de ProduccionTrim1.

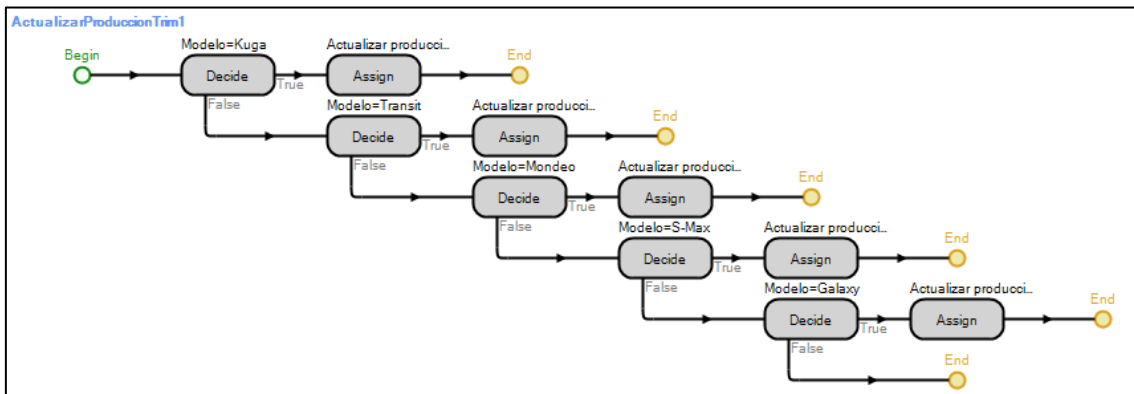


Ilustración 134: Proceso ActualizarProduccionTrim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

### Definición VolumenTrim

Se creará también una tabla donde se indique cual es la cantidad deseada de producción de los modelos en cada una de las líneas de Trim para un día. Esta tabla se definirá con el nombre de VolumenTrim. Su definición aparece en la ilustración 135.

	Modelo	VolumenTrim1 (coche/día)	VolumenTrim2 (coche/día)
1	Kuga	80	370
2	Transit	0	695
3	Mondeo	605	0
4	S-Max	258	0
5	Galaxy	122	0

Ilustración 135: Introducción Tabla Volumen Producción Trim (elaboración propia a partir de del programa de simulación SIMIO)

## Variables

Para poder realizar el proceso de DemandaTrim correspondiente a la línea de Trim1 y sus procesos asociados se necesitan algunas variables auxiliares que se definen de la siguiente manera:

La variable “x” funcionará como contador para hacer la referencia a cada uno de los modelos. Así cuando “x” adquiera el valor 1 se referirá al modelo Kuga, cuando adquiera el valor 2 se referirá al modelo Transit, el valor 3 corresponderá al modelo Mondeo, el valor 4 al modelo S-Max y por último, el valor 5 corresponderá al modelo Galaxy. Esta información se encuentra resumida en la ilustración 136.

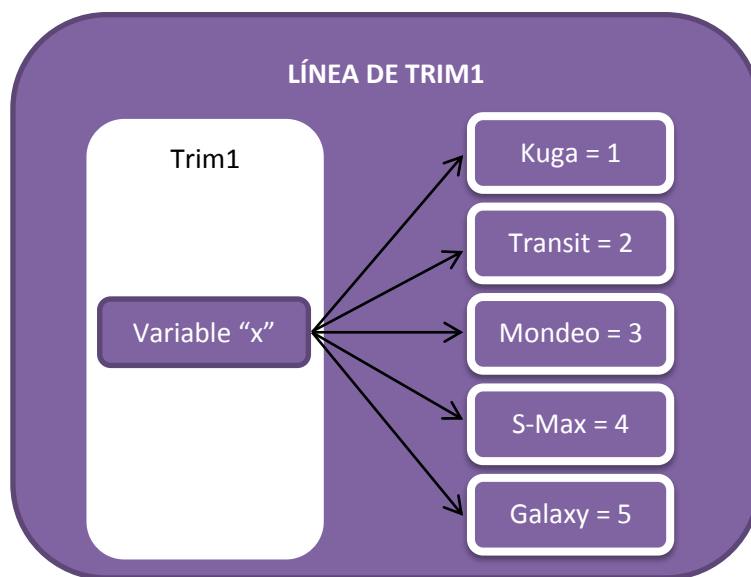


Ilustración 136: Variable "x" (elaboración propia)

También se definirán la variable “xmin” que servirá para guardar el valor del modelo que cumpla la condición de tener menor porcentaje de vehículos procesados. De esta manera, el modelo que indique esta variable, será el siguiente en ser procesado. Se le dará un valor inicial igual a cero en el proceso para que posteriormente se actualice en el mismo proceso. La información de la variable “xmin” aparece resumida en la ilustración 137.

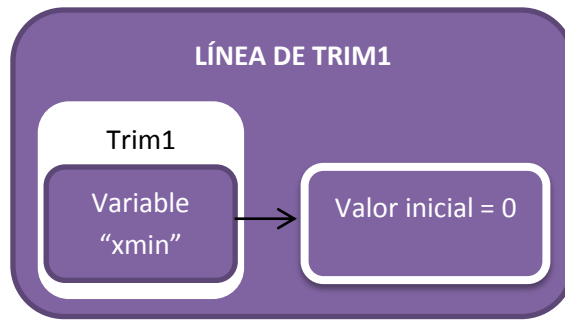


Ilustración 137: Variable "xmin" (elaboración propia)

Otra variable a definir será la llamada “xminprod” en la cual se cuál es el menor valor del porcentaje de vehículos montados respecto al total por montar. El valor de esta variable corresponderá al porcentaje del mismo modelo que se ha guardado en la variable “xmin”. Se le asignará a esta variable un valor inicial muy elevado para que luego sea comparado con los otros y se calcule el mínimo de ellos. La información de esta variable aparece en la ilustración 138.

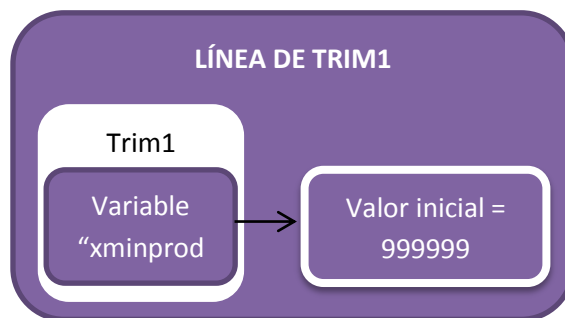


Ilustración 138: Variable "xminprod" (elaboración propia)

Por último, la variable “xaux” será una variable auxiliar que ayudará a la hora de hacer los cálculos internos del proceso.

### Proceso CalcularMinimoTrim

El proceso de CalcularMinimoTrim1 comienza por asignar a las variables auxiliares sus valores iniciales, los cuales se han explicado en el apartado anterior.

El siguiente paso es crear un bucle mediante el cual se analizarán los porcentajes de vehículos producidos por los totales a producir de cada uno de los modelos. El bucle se consigue realizar poniendo una decisión que sea si la variable “x” es menor o igual que 5. En el caso de que no se cumpla la condición se acaba el proceso.

En el caso de que se cumpla esta condición, se comprobará inicialmente si el modelo a analizar es un modelo Transit. En caso afirmativo, se dirige al final del bucle sumándole una unidad al valor “x” ya que el Transit no se procesa en la línea de Trim1. En cambio si se trata de otro modelo, se sigue con el proceso.

Se comprueba a continuación si el modelo de vehículos que se está analizando tiene existencias en su almacén ASRS. En caso afirmativo, se continúa con el proceso, y en caso negativo, se procede a analizar el siguiente modelo.

Se realiza el cálculo del porcentaje de vehículos procesados de un modelo por vehículos a procesar del mismo modelo a lo largo del día. Si el valor obtenido es menor que la variable “xminprod”, se le asigna a la variable “xmin” el valor del modelo y a la variable “xminprod” el valor del porcentaje.

Tras esto se procede a evaluar el siguiente modelo hasta finalizar el bucle. Como resultados de este proceso se tendrá por tanto el valor del modelo que se tiene que procesar a continuación en la línea de Trim1.

A continuación se muestra en la ilustración 139 la definición de este proceso completo en el programa de simulación SIMIO.

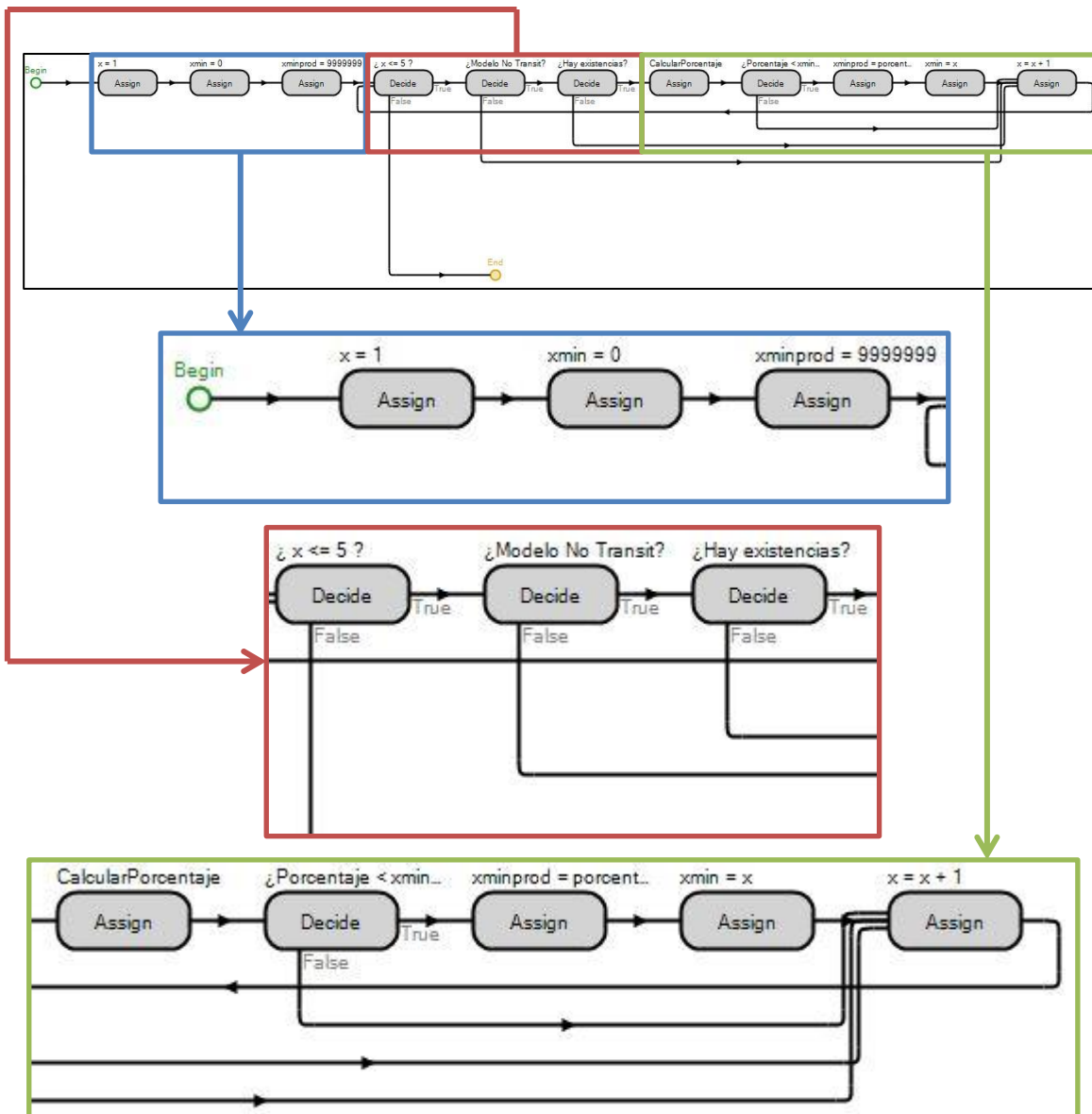
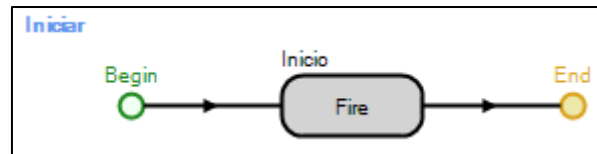


Ilustración 139: Proceso CalcularMínimoTrim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)

### Proceso Iniciar

Para que los almacenes de ASRS no estén vacíos al empezar la simulación, se añadirán unas entradas de material que llenen el almacén al inicio de la misma. Para ello se definirá que estas entradas mandan una determinada cantidad de coches al almacén ASRS con un evento que se ejecuta en el inicio de la simulación. El proceso que ejecuta el evento es el que aparece en la ilustración 140.



**Ilustración 140: Proceso Iniciar (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

También se tiene en cuenta que en estas entradas habrá que asignar a cada uno de los coches el modelo al que pertenecen.

### **Proceso DemandaTrim**

En el proceso de DemandaTrim1, el primer paso es que el proceso espere un pequeño tiempo para realizar un pedido. De esta manera, da tiempo a que los almacenes se llenen al empezar una simulación.

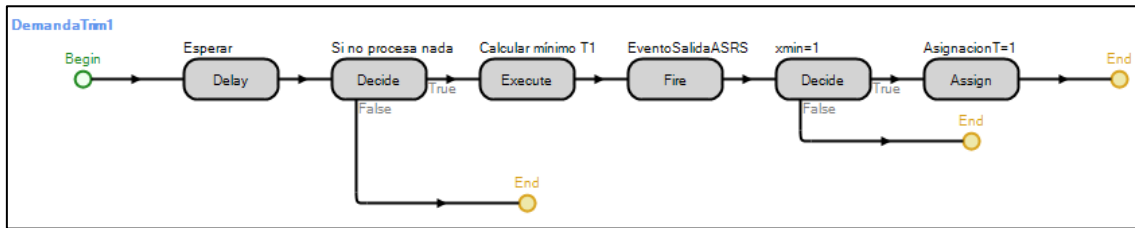
Después se plantea la cuestión de si la línea de Trim1 está vacío o está procesando algún vehículo. En caso de que esté procesando algún vehículo, se finaliza el proceso y en el caso de que esté vacío, se ejecuta el proceso CalcularMinimoTrim1 que se ha explicado anteriormente.

Cuando se lleva a cabo el proceso CalcularMinimoTrim1, este devuelve el valor del modelo del siguiente vehículo a procesar. Se utiliza este valor para ejecutar el evento de salida del almacén correspondiente a dicho modelo.

Hasta aquí llega el proceso para todos los modelos excepto para el modelo Kuga que puede ser montado en la línea de Trim1 o en la línea de Trim2 y por tanto se le asignará un valor de 1 a una variable llamada AsignacionT cuando se destine este coche a la línea de Trim1 y cuando tenga un valor de 2 el coche se destinará a la línea de Trim2.



A continuación se muestra en la ilustración 141 la definición de este proceso completo en el programa de simulación SIMIO.



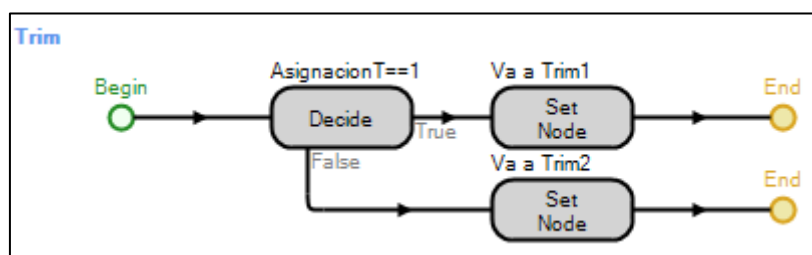
**Ilustración 141: Proceso DemandaTrim1 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

### Proceso Trim

Decisión de a qué línea de Trim se destina el modelo Kuga en cada ocasión que se ejecute el evento de salida de la parte de almacén correspondiente al mismo. Como se ha dicho anteriormente, en el proceso de DemandaTrim1 y DemandaTrim2, se asigna a una variable llamada AsignacionT el valor 1 o 2 dependiendo de si el modelo es demandado por la línea de Trim1 o Trim2.

Para ello se realizará un evento que se ejecutará cuando entre un coche en el nodo de salida del almacén ASRS1. En él se decidirá si el valor de AsignacionT es 1 o 2, y se enviará el coche a la línea de Trim correspondiente.

A continuación se muestra en la ilustración 142 la definición de este proceso completo en el programa de simulación SIMIO.



**Ilustración 142: Proceso Trim (imagen extraída del programa de simulación SIMIO)**

## **Línea de Trim2**

Una vez realizados todos los procesos pertinentes para la línea de Trim1, se debe de repetir algunos de los procesos para la línea de Trim2.

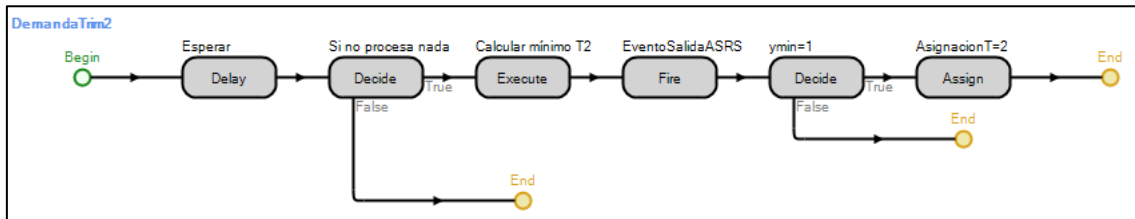
Todos los procesos se realizarán de la misma manera que en la línea de Trim1 pero hay que tener en cuenta unos matices:

En primer lugar habrá que tener en cuenta que las variables auxiliares se deberán nombrar de manera diferente. En las variables de la línea de Trim1 todas empezaban con la letra “x”, en cambio se definen las variables “y”, “ymin”, “yaux” y “yminprod” para la línea de Trim2.

Por otro lado, la línea de Trim2 tan solo puede procesar los modelos de vehículos Kuga y Transit con lo cual, en el proceso de DemandaTrim2 solo se realizará un bucle que comprenda los valores de modelo 1 y 2.

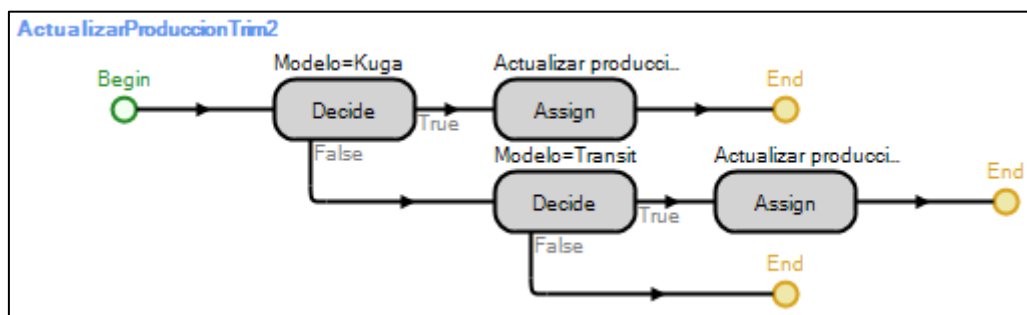
Por último, y como ya se ha mencionado anteriormente, en el proceso de DemandaTrim2 si se realiza la secuenciación de un modelo Kuga se le asignará a la variable AsignaciónT el valor 2. De esta manera el Kuga que salga del almacén ASRS tendrá como destino la línea de Trim2.

La definición del proceso DemandaTrim para la línea de Trim2 en el programa de simulación SIMIO aparece en la ilustración 143.



**Ilustración 143: Proceso DemandaTrim2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)**

La definición del proceso ActualizarProduccionTrim para la línea de Trim2 en el programa de simulación SIMIO aparece en la ilustración 143.



**Ilustración 144: Proceso ActualizarProduccionTrim2 (elaboración propia del programa de simulación SIMIO)**

La definición del proceso CalcularMinimoTrim para la línea de Trim2 en el programa de simulación SIMIO aparece en la ilustración 145.

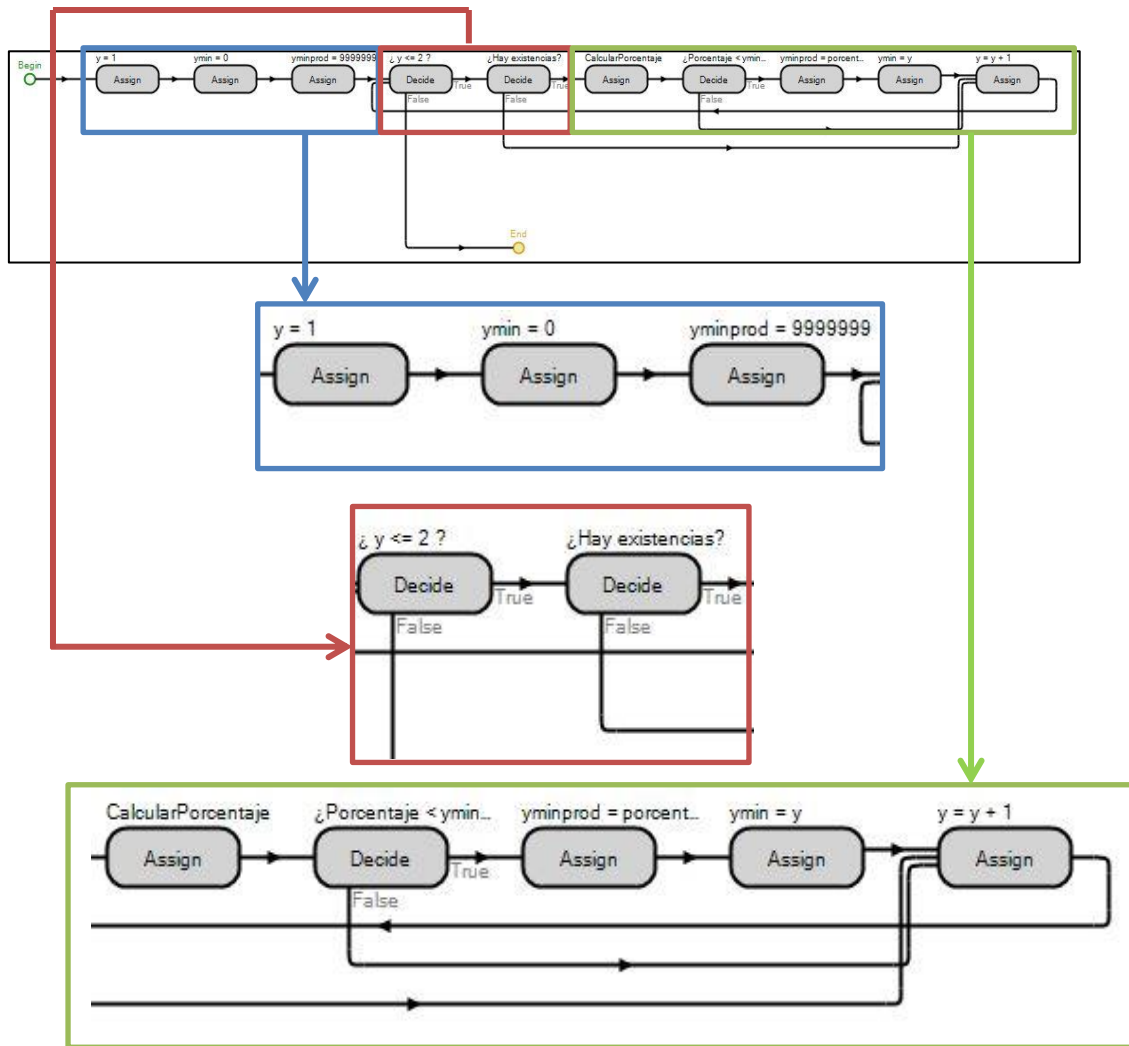


Ilustración 145: Proceso CalcularMínimoTrim2 (elaboración propia a partir del programa de simulación SIMIO)