

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

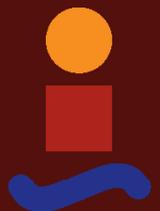
Estudio comparativo de Herramientas de Simulación

Autor: Magdalena Ruiz Romero

Tutor: Paz Pérez González

Dep. Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Estudio comparativo de Herramientas de Simulación

Autor:
Magdalena Ruiz Romero

Tutor:
Paz Pérez González

Dep. Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Grado: Estudio comparativo de Herramientas de Simulación

Autor: Magdalena Ruiz Romero

Tutor: Paz Pérez González

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia, siempre.

Resumen

La finalidad de este trabajo es abordar el estudio comparativo entre dos herramientas de simulación, Bizagi Modeler y Arena Simulation. Ambas herramientas han sido estudiadas en el Grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Estos softwares serán analizados utilizando la licencia gratuita, ya que el objetivo del presente documento es servir como soporte de ayuda a la hora de decidir qué herramienta escoger en el ámbito académico. A modo de ejemplo, se ha elegido modelar y simular el proceso productivo de un pequeño taller de tablas de surf. Al tratarse de un caso real, los datos han sido proporcionados por los responsables del negocio dándole mayor fiabilidad al supuesto práctico.

Abstract

The objective of the present project is to undertake a comparative study of two simulation tools: Bizagi Modeler and Arena Simulation. Both computer tools have been used throughout my undergraduate studies in Industrial Engineering Management.

The above software will be analyzed using free licenses, since the aim of this document is to serve as a help when it comes to decide which tool to use in the academic world. By way of example, I chose to model and simulate the production process of a small surfboard manufacturer. This being a real-life case, all data was provided by the company managers, lending a higher reliability to the case study.

Índice

Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xii
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras	xvi
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 <i>Objetivo</i>	19
1.2 <i>Estructura del documento</i>	19
2 Business Process Simulation (BPS)	20
2.1 <i>Introducción a la simulación</i>	20
2.2 <i>Definición de Business Process Simulation (BPS)</i>	21
2.3 <i>Simulación de Eventos Discretos (DES)</i>	24
3 Herramientas BPS	25
3.1 <i>Bizagi Modeler</i>	25
3.1.1 <i>Obtención del modelo</i>	25
3.1.2 <i>Vista de simulación</i>	27
3.1.3 <i>Datos de simulación</i>	27
3.1.4 <i>Informe de resultados</i>	32
3.1.5 <i>Escenarios</i>	37
3.2 <i>Arena Simulation</i>	38
3.2.1 <i>Obtención del modelo</i>	38
3.2.2 <i>Vista de simulación</i>	42
3.2.3 <i>Datos de simulación</i>	43
3.2.4 <i>Informe de resultados</i>	47
3.2.5 <i>Escenarios</i>	49
4 Presentación casos prácticos	52
4.1 <i>Introducción</i>	52
4.2 <i>Proceso de gestión</i>	52
4.3 <i>Proceso de fabricación</i>	53
5 Caso práctico. Bizagi Modeler	61
5.1 <i>Modelo estático</i>	61
5.2 <i>Modelo dinámico</i>	65
5.3 <i>Simulación Nivel 1</i>	66
5.4 <i>Simulación Nivel 2</i>	70
5.5 <i>Simulación Nivel 3</i>	71
5.6 <i>Simulación Nivel 4</i>	74
5.7 <i>Análisis What-If</i>	76
6 Caso práctico. Arena Simulation	78

6.1	<i>Modelo</i>	78
6.2	<i>Simulación del modelo</i>	82
6.3	<i>Análisis What-If</i>	85
7	Estudio comparativo de herramientas	89
7.1	<i>Introducción</i>	89
7.2	<i>Estudio comparativo</i>	89
7.2.1	Modelado	89
7.2.2	Tiempo de simulación	91
7.2.3	Resultados de simulación	91
7.3	<i>Conclusiones</i>	92
8	Bibliografía	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de simulación Nivel 1: Modelo principal	69
Tabla 2. Resultado de simulación Nivel: Subproceso “Laminar. AB”	69
Tabla 3. Resultados de simulación Nivel 2: Modelo principal	71
Tabla 4. Resultados de simulación Nivel 3: Modelo principal	73
Tabla 5. Resultados de simulación Nivel 3: Subproceso “Laminar.AM”	73
Tabla 6. Resultados de simulación Nivel 3: Recursos	74
Tabla 7. Resultados de simulación Nivel 4: Subproceso “Laminar.AM”	75
Tabla 8. Resultados de simulación Nivel 4: Recursos	76
Tabla 9. Resultados de simulación Análisis What If: Recursos	76
Tabla 10. Resultados de simulación Análisis What If: Subproceso “Laminar.AM”	77
Tabla 11. Resultados de simulación en Arena: Modelo Inicial (<i>Tally Variables</i>)	84
Tabla 12. Resultados de simulación en Arena: Modelo Inicial (<i>Discrete-Event Variables, Counters y Outputs</i>)	85
Tabla 13. Resultado de análisis <i>What-If</i> en Arena	86
Tabla 14. Resultados de simulación en Arena: Modelo Modificado (<i>Tally Variables</i>)	87
Tabla 15. Resultados de simulación en Arena: Modelo Modificado (<i>Discrete-Event Variables, Counters y Outputs</i>)	88
Tabla 16. Tabla comparativa: Ventajas de Arena Simulation en modelado	90
Tabla 17. Tabla comparativa: Ventajas de Bizagi Modeler en modelado	90
Tabla 18. Tabla comparativa: Ventajas de Arena Simulation en simulación	91
Tabla 19. Tabla comparativa: Ventajas de Bizagi Modeler en simulación	91
Tabla 20. Similitudes de ambas herramientas	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos principales de Bizagi Modeler	26
Figura 2. Acceso a “Vista de simulación”	28
Figura 3. Tipos de parámetros para definir el intervalo de llegadas	29
Figura 4. Definición de recursos	30
Figura 5. Cuadro de diálogo para la configuración de recursos	31
Figura 6. Cuadro de diálogo para la asignación de recursos a actividades	31
Figura 7. Ventana de Simulación de Procesos	33
Figura 8. Ejecución de la simulación Nivel 1	33
Figura 9. Simulación Nivel 1 completada	34
Figura 10. Ejemplo de resumen de resultados de la simulación: Nivel 1	34
Figura 11. Vista gráfica de simulación	35
Figura 12. Ejemplo de resumen de resultados de la simulación: Nivel 2	36
Figura 13. Gráfico de recursos. Animación de la simulación en el nivel 3	36
Figura 14. Ejemplo de resumen de resultados de la simulación: Nivel 3	37
Figura 15. Propiedades de un escenario	37
Figura 16. Interfaz Arena	39
Figura 17. Módulos de flujo: Proceso básico	40
Figura 18. Módulos de flujo: Proceso Avanzado	41
Figura 19. Módulos de flujo: Proceso de Traslado Avanzado	41
Figura 20. Módulos de datos: Proceso Básico	41
Figura 21. Barra de herramientas de Arena	42
Figura 22. Cuadro de diálogo módulo <i>Create</i>	43
Figura 23. Cuadro de diálogo del módulo <i>Process</i>	44
Figura 24. Cuadro de diálogo módulo <i>Assign</i>	46
Figura 25. Cuadro de diálogo informes de resultados (<i>Reports</i>)	48
Figura 26. Explorador de reportes Arena	49
Figura 27. Cuadro de diálogo Parámetros de corrida (<i>Replication Parameters</i>)	49
Figura 28. Interfaz del software “Shape 3D”	53
Figura 29. Clasificación de tablas de surf según su forma	54
Figura 30. Clasificación de tablas según tipo de acabado	54

Figura 31. Tabla tras el <i>shapeado</i> del <i>bottom</i> y <i>deck</i> , respectivamente	56
Figura 32. Marcado de quillas y dimensiones	56
Figura 33. Proceso previo a la laminación	57
Figura 34. Laminado del <i>bottom</i>	58
Figura 35. <i>Cutlap</i>	58
Figura 36. Logo en una tabla de color tras haber laminado	59
Figura 37. Modelo estático Bizagi	61
Figura 38. Subproceso modelo estático “ <i>Shapear</i> ”	62
Figura 39. Subproceso modelo estático “Colocar cajetines”	62
Figura 40. Subproceso modelo estático “Laminar”	63
Figura 41. Subproceso modelo estático “Colocar elementos externos”	64
Figura 42. Subproceso modelo estático “ <i>Hotcoat</i> ”	64
Figura 43. Subproceso modelo estático “ <i>Glosscoat</i> y pulir”	65
Figura 44. Modelo dinámico Bizagi	66
Figura 45. Probabilidad de frecuencia de activación de compuerta	67
Figura 46. Subproceso modelo dinámico “Laminar. AB”	67
Figura 47. Configuración del escenario en Bizagi “Situación inicial”	68
Figura 48. Resumen de simulación Nivel 1	68
Figura 49. Resumen de simulación Nivel 2	70
Figura 50. Recursos críticos	72
Figura 51. Resumen de simulación Nivel 3	72
Figura 52. Cuadro de diálogo para definición de calendarios	74
Figura 53. Modelo principal en Arena	79
Figura 54. Cuadro de diálogo del módulo <i>Hold</i>	80
Figura 55. Cuadro de diálogo del módulo <i>Assign</i>	80
Figura 56. Configuración módulo <i>Decide</i> según condición	81
Figura 57. Subproceso “ <i>Glosscoat</i> ” en Arena	82
Figura 58. Cuadro de diálogo módulo <i>Process</i>	82
Figura 59. Cuadro de diálogo para la configuración de parámetros de simulación	83
Figura 60. Animación de la simulación en Arena	83
Figura 61. Cuadro de diálogo para configurar un nuevo escenario en Arena	86

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo

Actualmente existe una amplia gama de herramientas de simulación, especialmente de simulación discreta. Sin embargo, hay grandes diferencias entre ellas, tanto para la persona que realiza el modelo como para los que posteriormente analizan e interpretan los resultados.

En este Trabajo de Fin de Grado se quiere realizar un análisis comparativo de dos herramientas de simulación, ambas basadas en eventos discretos. El objetivo de este documento es servir como herramienta de decisión a la hora de escoger uno de los softwares estudiados, Bizagi Modeler y Arena Simulation, teniendo en cuenta diferentes aspectos. Para ello se va a simular un proceso real en el que se producen tablas de surf, supuesto que permitirá comparar las capacidades y limitaciones de cada herramienta.

Los programas escogidos han sido vistos en asignaturas del Grado en Ingeniería de Organización Industrial y ambos son usados con frecuencia en el ámbito de la Organización Industrial. Se quiere simular un modelo que imite, en la medida de lo posible, el comportamiento real del proceso. Una vez que haya sido construido el proceso definido, se llevarán a cabo comparaciones objetivas de los softwares en función de diferentes aspectos.

1.2 Estructura del documento

Para cumplir con el propósito anteriormente descrito, el trabajo se ha estructurado en ocho capítulos.

En el capítulo 2 se ha llevado a cabo una descripción y contextualización de la simulación de procesos de negocio, analizando su evolución en el tiempo, así como su relevancia en la toma de decisiones.

Tras esa introducción teórica, se realiza un análisis del funcionamiento de las herramientas de simulación escogidas en el capítulo 3. En dicho punto se definirán aspectos como los elementos que utiliza cada software, tipos de lenguaje empleados, datos de entrada, ejecución de simulación o informes de resultados. Gracias a la información proporcionada, será posible conocer el funcionamiento de las herramientas que, posteriormente, serán comparadas.

Previo al análisis de las herramientas, se presenta el caso práctico en el capítulo 4. El objetivo de este punto es dar a conocer el proceso de fabricación de las tablas de surf que se lleva a cabo en el negocio escogido. Al realizar el trabajo de manera artesanal, está compuesto por muchas actividades, hecho que dará juego a la hora de construir los modelos.

Una vez conocido el proceso real que será representado, pasaremos a analizarlo en los dos softwares, Bizagi Modeler y Arena Simulation. En el capítulo 6 se describirá la forma en la que se ha realizado la diagramación de las actividades descritas anteriormente, mostrando la forma en la que, en la medida de lo posible, se ha tratado de imitar el comportamiento real del proceso.

Con la intención de facilitar la elección de una de las herramientas, se desarrollado en el capítulo 7 un estudio comparativo de ambas herramientas, evaluando los alcances de las mismas, así como los inconvenientes detectados a la hora del desarrollo del modelo.

En última instancia se encuentra el capítulo 8, que resume la bibliografía utilizada en el desarrollo del trabajo.

2 BUSINESS PROCESS SIMULATION (BPS)

2.1 Introducción a la simulación

En los tiempos de crisis en los que vivimos no podemos desechar una buena idea de negocio por falta de recursos, y mucho menos desaprovecharlos por no haber estudiado el caso con detenimiento. Por ello, la simulación se convierte en una herramienta indispensable para el desarrollo y posterior implementación de cualquier sistema o proceso.

Para comenzar, es necesario definir el concepto de simulación. Según la RAE, la acción de simular es “representar algo, fingiendo o imitando lo que no es”. Si extrapolamos este término al campo de la ingeniería, podemos analizar la importancia de la simulación para el ámbito empresarial. Debido al entorno competitivo en el que se encuentran, las empresas se ven obligadas a planear sus actividades para así prever posibles problemas y oportunidades que pueda presentar la organización, y de esta manera alcanzar los objetivos fijados en un inicio (Morelos, Fabiola, Leal, & Betiny, 2004). Mediante estudios de simulación se pueden analizar los factores externos e internos que pueden influir en un sistema, observando así los efectos que estas alteraciones provocan en el mismo. Para concretar más aun, sería conveniente nombrar algunas de las definiciones más aceptadas. Thomas H. Naylor define el concepto de simulación de la siguiente forma:

“Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo.”

La simulación, normalmente, se lleva a cabo en la etapa de diseño para la mejora de un proceso o sistema, y de esta forma explorar e identificar posibles modificaciones. Robert E. Shannon lo explica de siguiente modo:

“Es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales su puede operar el sistema.”

La capacidad de visualizar cómo se comportaría un proceso, medir su rendimiento y realizar un análisis What-if para evaluar previamente el impacto de las decisiones a tomar en el negocio, hace que la simulación sea una herramienta indispensable para la toma de decisiones. Hay una gran variedad de modelos matemáticos que se pueden utilizar para analizar las abstracciones de los procesos de negocio. Estos modelos suelen tratarse de modelos analíticos, que pueden ser estudiados sin simulación (W. M. Van Der Aalst, 2015). En comparación con un modelo de simulación, un modelo analítico suele ser menos detallado y el ajuste de los parámetros es limitado.

Hay un número importante de ventajas que justifican el uso de la simulación. Entre ellas destacan las siguientes (W. M. Van Der Aalst, 2015):

- La simulación es flexible. Cualquier situación, independientemente de su complejidad, puede ser estudiada mediante un modelo de simulación.
- Además, puede ser utilizada para resolver un amplio rango de preguntas. Es posible evaluar los tiempos de espera, índices de uso y tasas de fallo utilizando un mismo modelo.
- La simulación estimula la creatividad, que conlleva al "*process thinking*", sin restringir el espacio de la solución por adelantado.

- La simulación es fácil de entender. En esencia, no es otra cosa que repetir una situación que previamente se ha modelado. A diferencia de muchos modelos analíticos, es necesario un conocimiento de los especialistas para comprender la técnica de análisis utilizada. Por lo tanto, la simulación se puede utilizar para comunicar ideas de manera efectiva.

Desafortunadamente, la simulación también presenta una serie de desventajas (W. M. Van Der Aalst, 2015):

- Un estudio de simulación puede consumir mucho tiempo. A veces se necesitan ciclos de simulación muy largos para obtener resultados fiables.
- Hay que tener especial cuidado a la hora de interpretar los resultados de la simulación, ya que determinar su fiabilidad puede ser traicionero.
- La simulación no proporciona ninguna prueba. Los fenómenos que puedan suceder en la realidad no pueden ser reflejados en ningún experimento de simulación.

2.2 Definición de Business Process Simulation (BPS)

Antes de definir el concepto de proceso y el valor que éste tiene para una empresa, es necesario explicar los dos enfoques desde los que se puede apreciar una organización: estructura funcional y por procesos.

La estructura funcional utiliza como modelo fundamental del negocio el organigrama de la empresa y aquellas actividades que se ejecutan con el fin de cumplir con la misión de la organización se estructuran en conjuntos de funciones relativamente homogéneos, ya sea departamento, sección o área (Sukno, 2013). Cada grupo funcional dentro de la organización está integrado verticalmente desde la parte inferior hasta la parte superior de la organización. Desde esta perspectiva es difícil identificar aquellos procesos que añaden valor al negocio ya que no se tienen en cuenta a la hora de imponer los objetivos en las distintas áreas de la empresa.

Por contraposición, la estructura por procesos está orientada el trabajo que debe llevarse a cabo para que el negocio funcione y de este modo se satisfagan las necesidades del cliente (Sukno, 2013). Tiene sentido mirar a la empresa como un conjunto lógico e integrado de procesos, ya que lo que realmente permanece en el tiempo en una organización son los procesos, mientras las estructuras pueden variar o incluso desaparecer. Esta idea favorece los equipos de trabajo, ayuda a la visión compartida entre áreas y muestra la dependencia entre los distintos grupos. Gracias a esta estructura es posible identificar el proceso, las personas involucradas en el mismo, qué tareas y cómo la realiza cada uno de ellos, así como el propio cliente y el grado de satisfacción del este con el resultado del proceso. De este modo, es posible medir la eficiencia e imponer objetivos. Una vez vista la relevancia de los procesos dentro de una organización hay que explicar dicho concepto. Thomas Davenport lo define de la siguiente manera:

“Un proceso es un conjunto estructurado, medible de actividades diseñadas para producir un producto especificado, para un cliente o mercado específico. Implica un fuerte énfasis en cómo se ejecuta el trabajo dentro de la organización, en contraste con el énfasis en el qué, característico de la focalización en el producto”.

Además, señala que, mientras es las estructuras organizacionales no pueden ser medidas ni mejoradas, los procesos, ya que son estructuras dinámicas que muestran el valor que una empresa entrega al cliente, tienen atributos de tiempo, calidad, costo y satisfacción de mismo (Sukno, 2013). En esta última se recalca el control de gestión y posterior mejoramiento que puede llevarse a cabo en los procesos de negocio. En varias ocasiones, se ha mencionado el concepto de valor o valor agregado. Oscar Barros introduce este concepto en la definición de proceso, puntualizando que:

“Un proceso es un conjunto de tareas lógicamente relacionadas que existen para conseguir un resultado bien definido dentro de un negocio; por lo tanto, toman una entrada y le agregan valor para producir una salida. Los procesos tienen entonces clientes que pueden ser internos o externos, los cuales reciben a la salida, lo que puede ser un producto físico o un servicio. Estos establecen las condiciones de satisfacción o declaran que el producto o servicio es aceptable o no”.

Después de analizar las definiciones anteriores, es posible deducir que en un proceso hay actividades que transforman unas entradas, obteniendo de este modo un resultado que tiene valor para un cliente. Estas actividades son la fuente de competencias distintivas, como señala Michael Porter, lo que lleva a la necesidad

estratégica de gestionar los procesos de negocio.

La corrección, eficacia y eficiencia de los procesos empresariales de una organización son vitales para la supervivencia en el mundo competitivo de hoy. Un proceso de negocio mal diseñado puede dar lugar a largos tiempos de respuesta, bajos niveles de servicio, utilización de recursos redistribuidos no deseados, clientes insatisfechos, reclamaciones por daños, etc. Por este motivo es importante analizar los procesos antes de su puesta en marcha (para encontrar defectos de diseño), aunque también durante su ejecución (como soporte para realización de diagnóstico y toma de decisiones).

Hace una década, pocas personas habían oído la idea de gestionar procesos de negocio, sin embargo, este concepto es la tendencia en gestión empresarial más popular de los últimos años (Sukno, 2013). La gestión de procesos de negocio (en inglés: *Business Process Management* o BPM) es la disciplina que combina el conocimiento de la tecnología de la información con las ciencias de la gestión y lo aplica a los procesos empresariales operativos (W. M. P. Van der Aalst, 2004). Esta notación gráfica incluye las herramientas necesarias para la mejora de la eficiencia/efectividad del negocio, permitiendo alcanzar una ventaja competitiva. La base de BPM es la representación explícita de los procesos de negocio con sus actividades y con las restricciones de ejecución existentes entre ellas. Una vez definidos los procesos de negocio, estos pueden ser objeto de análisis, mejora y puesta en marcha (Sukno, 2013). BPM coloca al cliente en primer lugar, centrándose únicamente en el negocio y en la idea de alcanzar un éxito mayor, uniendo personas y sistemas.

Es difícil señalar el punto de partida de la gestión de procesos de negocio, ya que tiene raíces tanto en la ciencia de la gestión como en la computacional. Desde la revolución industrial, la productividad se ha visto incrementada debido a las innovaciones técnicas, las mejoras en la organización del trabajo y el uso de la tecnología de la información (W. M. P. Van Der Aalst, 2013). La gestión de procesos de negocio surge de la necesidad de las empresas de conocer y dominar el comportamiento de un proceso, necesitando así herramientas para la implementación y control de sus estrategias y obteniendo de este modo un valor de negocio real. En los últimos años se ha desarrollado una tecnología que integra la modelación de procesos de negocio con la simulación: *Business Process Simulation* o BPS. Esta técnica emplea las tecnologías de simulación de los procesos de negocio con el objetivo de efectuar mejoras antes de automatizarlo e implementarlo (Melão & Pidd, 2003). La potencia de la simulación por ordenador combinada con la simplicidad de los diagramas de flujo y las hojas de cálculo, proporciona el arma estratégica más rentable, precisa y rápida para que las empresas evalúen alternativas antes de invertir en recursos caros y tiempo (Charnes, Morrice, Brunner, & Swain, 1996).

La simulación de procesos de negocio encarna el concepto de que una empresa es una serie de procesos interrelacionados, y dichos procesos consisten en actividades que convierten elementos de entrada (*inputs*) en elementos de salida (*outputs*) (Charnes et al., 1996). Es una de las técnicas analíticas más consolidadas, apoyada por una amplia gama de herramientas.

En la literatura pueden encontrarse varias versiones sobre la metodología utilizada para realizar un estudio de simulación. Sin embargo, la mayoría de los autores opinan que los pasos necesarios para llevar a cabo un análisis de un proceso o sistema a través de la simulación son (Coss, 1993):

- **Definición del sistema.** Previo a la simulación, es necesario realizar un análisis del sistema para determinar su interacción con otros sistemas, las restricciones y variables que intervienen, y los resultados que se esperan obtener del estudio.
- **Formulación del modelo.** Es necesario construir el modelo con que se obtendrán los resultados esperados. Se definen las variables que intervienen y los diagramas de flujo que describen el proceso por completo.
- **Colección de datos.** Es importante definir con exactitud los datos que requiere el modelo para poder reproducir de la manera más exacta posible el comportamiento del mismo y conseguir un resultado de calidad. Es un proceso sensible, ya que la recopilación de algunos datos puede ser bastante tedioso y complejo. La información se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo y compra, opiniones de expertos y, si no existe otra alternativa, mediante experimentación. Los principales datos de entrada y componentes de un proceso o sistema son (Safari, 2016):
 - Entidades o *tokens*. Son los elementos que entran en un modelo y se mueven por todo el proceso. En algunos casos aquellas entidades que entran son las mismas que llegan al final del modelo. En otros, el número no tiene por qué coincidir, por ejemplo, cuando las entradas

representan un lote y las entidades que lo componen terminan procesándose de manera individual.

- Recursos. Los recursos permiten que las entidades tomen decisiones a lo largo de un proceso. Un recurso puede ser un empleado, una máquina o incluso un sistema. Para definirlos en el modelo es necesario introducir los recursos críticos del proceso, el número de recursos disponibles para cada actividad, calendario de recursos para tener en cuenta la disponibilidad.
 - Tiempo. La mayoría de los datos que se introducen para definir un proceso están referidos a la variable tiempo. Los datos de simulación que aparecen a continuación se definen en función del tiempo.
 - Duración de las actividades. Define el tiempo que necesita una actividad, si los recursos se encuentran disponibles para esta última, en procesar una pieza.
 - Cronograma. Si existe un cronograma específico para llevar a cabo un proceso, es necesario reflejarlo en el sistema.
 - Tiempos de espera (*delay*). Representan demoras en el proceso.
 - Calendario. Para obtener un resultado lo más próximo a la realidad, es necesario definir datos como horario de trabajo, días festivos o fines de semana.
- **Codificación.** Una vez que el modelo está definido, hay que elegir un lenguaje de programación o herramienta de simulación para procesarlo en un ordenador y obtener los resultados esperados.
 - **Validación.** Es una de las etapas más relevantes, ya que es posible detectar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos obtenidos. La validación asegura la correcta representación de la realidad por parte del modelo.

Un modelo puede validarse gracias a la opinión de expertos sobre los resultados de la simulación, la exactitud con la que se predicen los datos históricos y el futuro o a la comprobación de falla del modelo de simulación utilizando datos que hacen fallar al sistema real.

- **Experimentación.** En esta etapa se generan los datos deseados y análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

A la hora de realizar experimentos con el modelo generado, hay que tomar decisiones referentes a algunos aspectos. Es importante definir con claridad las condiciones iniciales, definir el número de iteraciones necesarias para obtener resultados precisos, y tener en cuenta las consideraciones a la hora de escoger el valor de los parámetros utilizados.

- **Interpretación.** En esta fase se interpretan los resultados que lanza la simulación y se realiza una toma de decisiones en función de los mismos.

Un modelo BPS refleja de una manera realista las restricciones de los recursos, las reglas de decisión y el comportamiento estocástico de las situaciones del mundo real (Safari, 2016). Cuando un modelo de proceso es simulado, imita el funcionamiento de la empresa. Esto se logra pasando por cada uno de los eventos en un periodo de tiempo comprimido, mostrando simultáneamente el flujo de trabajo. Dado que el software de simulación realiza un seguimiento de las estadísticas de todos los elementos del modelo, el rendimiento de un proceso se puede evaluar analizando los datos de salida de dicho modelo.

Se puede recurrir al uso de modelos de simulación para cualquier tipo de cuestión dentro de una empresa, desde la identificación de tiempos de espera hasta analizar el efecto de distintos factores, como cambiar la hora de apertura de un negocio o la asignación de personal según carga de trabajo.

Como muchos autores argumentan, la principales causas de fallo de BPM o de cualquier proyecto de mejora de procesos son la dificultad de predecir los resultados cuando se produce un cambio radical, la incapacidad de evaluar los efectos de las soluciones diseñadas antes de la implementación, la falta de creatividad en el futuro, predecir con precisión los costos de implementación del nuevo proceso, la dificultad para identificar el carácter dinámico de los procesos, la falta de compromiso de la alta gerencia y el apoyo a nivel ejecutivo, y participación de los empleados (Paolucci, Bonci, & Russi, 1997; Wong, Tseng, & Tan, 2014).

Pero es posible plantearse si existen, o no, razones de importancia que justifiquen el uso de la simulación.

Algunos de los argumentos para representar la realidad mediante modelos de simulación son (W. M. Van Der Aalst, 2015):

- Obtención de información de una situación futura, ya sea existente o propuesta. Al modelar un proceso de negocios se muestra aquello que es relevante y lo que no.
- Un experimento real puede resultar muy costoso. La simulación es una manera rentable de analizar varias alternativas. Decisiones como la contratación de personal adicional o la compra de nueva maquinaria resultaría demasiado caro simplemente para comprobar el efecto que resultaría. Es de utilidad saber por adelantado si la medida a ser tomada tendrá el efecto deseado.
- La peligrosidad y el riesgo de perjudicar el sistema es un factor a tener en cuenta a la hora de realizar un experimento real. De hecho, algunos de ellos no se pueden llevar a cabo en la realidad debido a razones legales, éticas o de seguridad.

Además, la simulación permite estudiar en un corto periodo de tiempo la evolución de un sistema cuya evolución es muy dilatada en el tiempo. Si una organización no tiene suficiente potencial para resolver los problemas anteriores con antelación, éstos surgen una vez que se han implementado los nuevos procesos, cuando suele ser difícil y costoso arreglar una decisión incorrecta (Greasley, 2006). Por lo tanto, es importante reconocer a tiempo y prevenir cualquier error, o el fracaso puede surgir durante la ejecución de los procesos prediseñados.

2.3 Simulación de Eventos Discretos (DES)

La complejidad y el carácter dinámico de los procesos empresariales hacen que los diagramas de flujo o las hojas de cálculo no sean suficiente para poder analizarlos.

En particular, la simulación de eventos discretos (*Discrete Event Simulation* o DES) ha sido utilizada para modelar y optimizar sistemas complejos de fabricación y líneas de montaje, ya que modela de forma precisa la variación de estos sistemas usando distribuciones de probabilidad (Prajapat & Tiwari, 2017). Es una herramienta que permite estudiar los procesos y eventos que van apareciendo durante la evolución del sistema en el tiempo. En este tipo de modelos, el estado de la evolución del sistema se va a modificar sólo en instantes discretos de tiempo (es decir, de forma separada y en momentos distintos) debido a la aparición de algún evento (Soto Álvarez, 2009). En la simulación de eventos discretos el estado de un modelo cambia sólo en un conjunto discreto, aunque posiblemente aleatorio, en puntos simulados de tiempo (Schriber & Brunner, 1997). Los eventos son acontecimientos que pueden ir ocurriendo a lo largo de la simulación y, en este tipo de modelos, la probabilidad de que ocurra cada uno de ellos viene marcado por las características y factores de riesgo de los procesos.

Entre otras cosas, DES se aplica para el dimensionamiento y la asignación de los recursos, para responder a cuestiones operacionales relacionadas con la escalabilidad y rendimiento con respecto a escenarios operativos, para predecir el comportamiento del sistema y para la estimación de riesgos (Maria Mach-Król, 2014; Prajapat & Tiwari, 2017). Esta información ha permitido a los fabricantes implementar modificaciones significativas y beneficiosas en sus instalaciones para mejorar las operaciones con el fin de cumplir con los objetivos de producción. La simulación de eventos discretos es la herramienta más poderosa y realista para analizar el rendimiento de los procesos de negocio; tiene en cuenta la variabilidad de los tiempos de cada actividad, la interdependencia de los recursos y otros elementos que afectan al rendimiento a través del tiempo (Charnes et al., 1996). De este modo, es posible representar el comportamiento de un sistema complejo con una serie de eventos bien definidos y ordenados, obteniendo un buen resultado a pesar de la variabilidad, la limitación de recursos o interacciones de otros sistemas. Las herramientas que se van a analizar en el presente documento se basan en este tipo de simulación. El programa recorre cada evento discreto que forma parte del modelo a medida que el tiempo transcurre.

A continuación, se procede a explicar las herramientas de simulación que, con posterioridad, serán analizadas.

3 HERRAMIENTAS BPS

3.1 Bizagi Modeler

Fuentes de información: <http://help.bizagi.com/process-modeler/es/>

Bizagi Modeler es un potente modelador de procesos de negocio basado en el estándar BPMN (*Business Process Model and Notation*). BPMN es una notación gráfica estandarizada que permite la representación de procesos de negocio en un flujo de trabajo (*workflow*). Gracias a su sencillez, aceptación mundial de entre todas las metodologías, herramientas y lenguajes que existen, sirve de lenguaje común, facilitando la comprensión a la hora de implementar el diseño de un proceso de negocio.

Con el modelador de Bizagi podrán realizarse diagramas y documentar los procesos que los componen de una forma eficiente.

3.1.1 Obtención del modelo

Para la modelización del proceso, Bizagi cuenta con dos estándares:

- Soporte de BPMN 2.0:

Como se ha aclarado anteriormente, BPMN es una notación gráfica que fue creada para proveer un lenguaje unificado de aceptación mundial en el campo de los procesos de negocio. Bizagi actualmente soporta la última versión, BPMN 2.0.

- Soporte de XPD L 2.2:

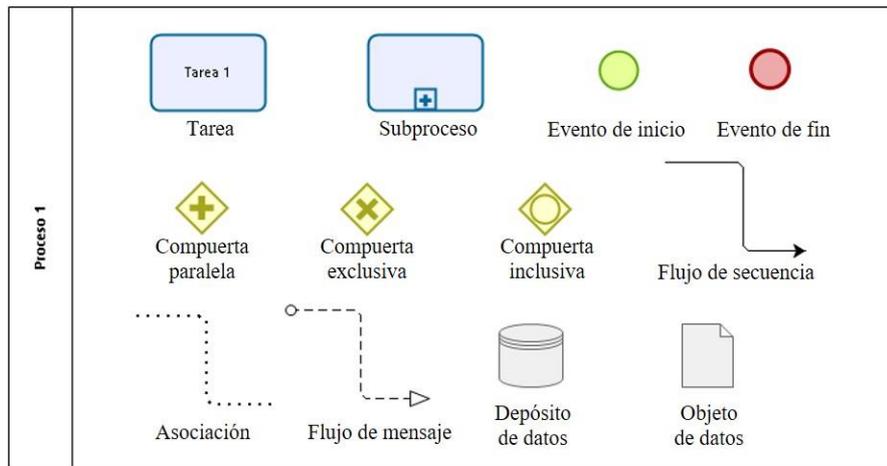
Este lenguaje de para la definición de un flujo de trabajo o *workflow*. Este formato estándar permite que se produzcan intercambio de definiciones de procesos de negocio entre diferentes productos del *workflow*.

Ya que BPMN está pensado para modelar procesos, es necesario que la salida no se exprese en un lenguaje de programación. A través de un lenguaje como XPD L, es posible disponer de la traducción de un formato gráfico a uno legible por máquinas.

Este formato de archivo permite que una herramienta de diseño de procesos describa un diagrama y otra que lo lea, y hace que la imagen que resulta sea lo más parecida posibles a ambas interpretaciones. XPD L provee un formato de archivo que soporta el aspecto de la notación BPMN.

Para poder implementar un modelo en Bizagi, hemos visto que previamente ha de ser modelado. Vamos a

definir los elementos básicos que contiene un diagrama realizado con dicha herramienta.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 1. Elementos principales de Bizagi Modeler

- **Pool.** El recinto en el que se construye el diagrama que refleja el flujo de trabajo es el Pool. Un Pool representa un participante en el proceso, ya sea una entidad de negocio específica o un rol de negocio más general. Dentro de cada Pool pueden hacerse subparticiones (Lane).
- **Tarea.** Una tarea es una actividad que forma parte de un proceso y es usada cuando el trabajo en dicho proceso no es descompuesto.
- **Subproceso.** Es una actividad que contiene otras actividades, es decir, un proceso. El proceso que se encuentra dentro del proceso padre es dependiente de este último, tiene visibilidad de sus datos y no es necesario un mapeo de los mismos.
- **Evento de inicio.** Indica el comienzo de un proceso.
- **Evento de fin.** Indica cuándo termina un proceso.
- Hay varios tipos de compuerta, pero los más usados son:
 - Compuerta paralela. Se utiliza cuando varias actividades pueden realizarse consecutivamente o en paralelo y en cualquier orden, es decir, todas las actividades que salgan de este nodo serán activadas.
 - Compuerta exclusiva. Indica que sólo se puede tomar un camino de todos los disponibles. Esta decisión es basada en datos del proceso.
 - Compuerta inclusiva. Indica que uno o más caminos de entre todos los posibles pueden ser tomados. En este caso, también se necesitan conocer los datos del proceso para tomar la decisión.
- **Flujo de secuencia.** Muestra el orden en el que se ejecutan las actividades en un proceso. Cada flujo tiene un único origen y un solo fin.
- **Asociación.** Gracias a este elemento se puede asociar información y artefactos con objetos de flujo.
- **Flujo de mensaje.** Muestra el flujo de mensajes entre dos entidades que están preparadas para enviarlos y recibirlos.

- **Objeto de datos.** Representan diversos tipos de objetos, tanto electrónicos como físicos. Estos objetos proveen información acerca de cómo los datos, documentos y otros objetos son usados y actualizados durante el proceso.
- **Depósito de datos.** Ofrece un mecanismo para que las actividades puedan consultar o actualizar información almacenada.

3.1.2 Vista de simulación

Bizagi utiliza el estándar BPSim (*Business Process Simulation*), permitiendo la mejora a los procesos de negocio que han sido modelados en esta herramienta, a través de rigurosos métodos de análisis.

Los resultados provenientes del proceso de simulación vendrán determinados por el nivel de detalle de los datos que se han introducido en el modelo.

Una vez que se cuenta con un modelo de un proceso completo, es posible comenzar a usar la simulación. Para obtener resultados fiables, Bizagi sugiere seguir cuatro niveles:

- **Nivel 1: Validación del proceso.** En este primer nivel, la simulación comprueba que el proceso avanza correctamente por los flujos de secuencia y se comporta conforme a lo esperado. En este nivel los recursos, costos y tiempos no se ven reflejados.
- **Nivel 2: Análisis del tiempo.** En este nivel es posible conocer el tiempo total del proceso. Se define el intervalo de llegadas en cada nodo de inicio y el tiempo de procesamiento de cada actividad o evento. En este nivel, no se definen los recursos. Bizagi asume una capacidad de flujo infinita para evitar las demoras en el flujo, siendo una situación ideal bajo el flujo y los datos de tiempo proporcionados.
- **Nivel 3: Análisis de recursos.** En este nivel se incluyen las restricciones de recursos en cada actividad, realizando así el análisis de rendimiento del proceso. En este nivel podemos detectar problemas como cuellos de botella o aumento de tiempos de ciclo, reduciendo la capacidad del proceso.
- **Nivel 4: Análisis de calendarios.** Para obtener una aproximación cercana al rendimiento del proceso real hay que tener en cuenta la disponibilidad de recursos en el tiempo. En la vida real, los procesos están sujetos a condiciones cambiantes como días festivos, fines de semana u horarios laborales, que definen el rendimiento del proceso. En este nivel, la información a incluir es aquella que refleja la disponibilidad de recursos en periodos dinámicos de tiempo.

Como se puede apreciar, cada uno de estos niveles incorpora un nivel de detalle en los datos introducidos mayor que en el anterior. No es necesario seguir el orden, si se posee la información requerida, la introducción de datos puede comenzarse en cualquiera de los cuatro.

En cada nivel de simulación se habilitarán los elementos que requieran información.

3.1.3 Datos de simulación

Los datos introducidos en los cuatro niveles de simulación de Bizagi aportan información al proceso. El nivel de detalle de esta información es directamente proporcional al número del nivel, es decir, el último nivel es aquel en el que se introducen los datos más complejos. Sin embargo, los niveles no son restrictivos, y se puede comenzar a introducir los datos en cualquiera de los niveles de simulación.

Para poder introducir los datos en el modelo, es necesario cambiar a la “Vista de simulación”. El botón de acceso se encuentra en la cinta de opciones, tal y como se muestra en la Figura 2

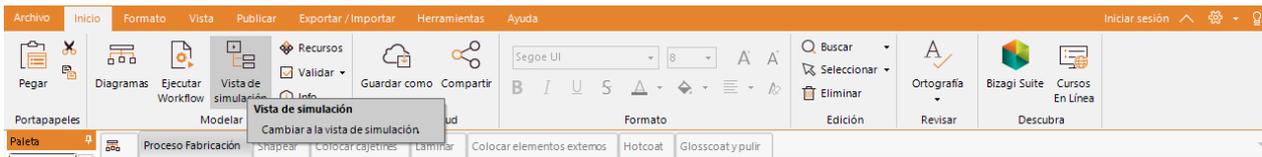


Figura 2. Acceso a “Vista de simulación”

Una vez dentro de la vista de simulación, por defecto, siempre se iniciará en la última fase configurada.

Si se hace clic en cualquiera de los subprocesos, se accede al proceso que lo compone, pudiendo registrar en dicha pantalla los datos de las actividades. Esto significa que Bizagi permite la navegación dentro del modelo.

En este apartado se especifica el tipo de datos, tanto de entrada como de salida, que se introducen y obtienen en los diferentes niveles.

3.1.3.1 Nivel 1: Validación del proceso

Cuando el proceso ha sido modelado por completo, se pueden introducir los datos de simulación. Recordamos que Bizagi recomienda seguir los cuatro niveles comentados en el apartado 3.1.2. De este modo, introduciendo los datos poco a poco, es fácil identificar errores y evaluar las variaciones de los datos de salida en cada uno de los niveles. Cuando la vista de simulación se encuentre activa podrán introducirse los datos correspondientes a cada nivel de simulación.

- **Datos de entrada.**

En este primer nivel “Validación del proceso”, únicamente se podrán introducir información de los eventos de inicio y compuertas. En cada nivel de simulación aparecerán resaltados los elementos cuyos datos deban ser definidos.

La configuración de este nivel permite realizar una simulación básica con el objeto de evaluar la estructura del diagrama. Para ello, deberán introducirse los siguientes datos:

- Número máximo de llegadas. Hay que definir en cada evento de inicio el número máximo de instancias a generar. Para obtener resultados de simulación fiables, es necesario determinar un número lo suficientemente alto (por ejemplo, 1000). De este modo, la simulación finalizará cuando se agote el tiempo de simulación (la duración del escenario), sin tener en cuenta el número máximo de llegadas. De lo contrario, al no agotarse el tiempo, algunos recursos podrían quedar libres devolviendo resultados erróneos de simulación.
- Enrutamiento de compuertas. Todos los tipos de compuertas requieren probabilidades para definir con qué frecuencia van a ser activadas. Las probabilidades están definidas con valores entre 0 y 100 %.

- **Datos de salida.**

Los resultados obtenidos en este nivel muestran los caminos que se han activado en el proceso y se asegura de que todas las instancias creadas hayan sido terminadas. Además, evalúa el número de instancias que pasan por cada flujo de secuencia, actividad y evento final.

3.1.3.2 Nivel 2: Análisis de tiempo

Gracias a la simulación de este nivel, es posible conocer el tiempo total del proceso. Como se ha visto en el apartado 3.1.2, no se tendrán en cuenta los recursos, suponiendo una capacidad infinita.

- **Datos de entrada.**

- Intervalo de llegada. Define el tiempo entre llegadas, es decir, cada cuánto tiempo se genera un

token. Este dato se aplica eventos de inicio, temporizadores y actividades que inician procesos. Este dato podrá ser constante o podrá ser definido mediante una distribución estadística. Bizagi permite elegir entre los tipos de parámetros que se muestran en la Figura 3.

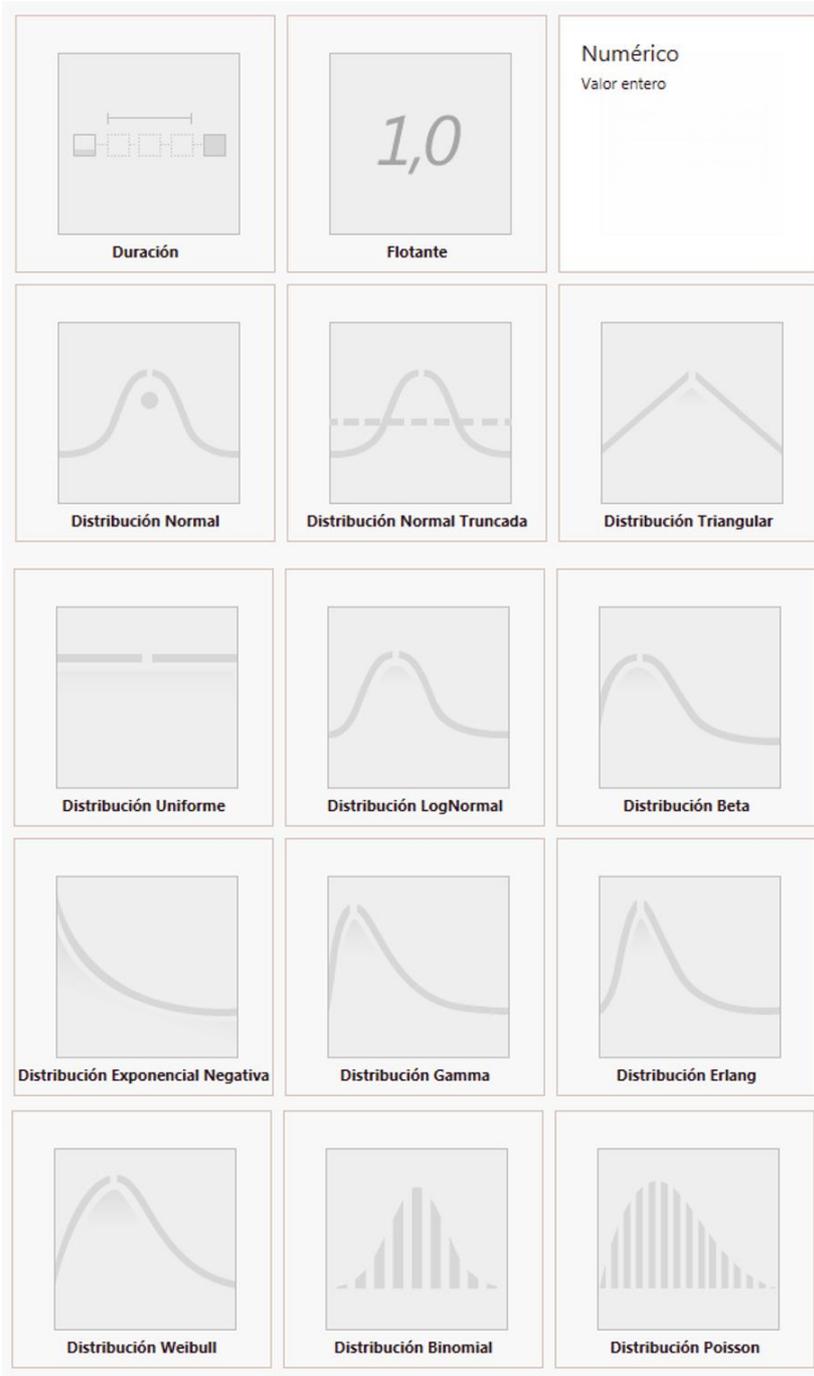


Figura 3. Tipos de parámetros para definir el intervalo de llegadas

Independientemente del valor introducido, la simulación correrá hasta que se complete el número máximo de llegadas que se configuró en el nivel anterior.

- Tiempo de proceso. Define el tiempo que necesita una actividad para procesar una entidad. Al igual que en el intervalo de llegada, se podrá definir como una constante o indicando una distribución estadística.
- **Datos de salida.**

Ya que la información introducida se va acumulando conforme se avanza por los niveles de simulación

habrá más datos definidos. Por consiguiente, los resultados que se obtengan tendrán mayor nivel de detalle.

En este caso, los resultados nos ofrecen una idea general del tiempo de ciclo esperado para el proceso. Además de los datos que proporcionó en el nivel 1, Bizagi devuelve la siguiente información adicional:

- Número de instancias iniciadas.
- Tiempo mínimo de proceso.
- Tiempo máximo de proceso.
- Tiempo medio de procesamiento.
- Tiempo total empleado para procesar.

3.1.3.3 Nivel 3: Análisis de recursos

Como se ha comentado en el apartado 3.1.3.2, hasta ahora se había supuesto que los recursos implicados en el proceso tenían una capacidad infinita para llevar a cabo todas las actividades que lo componen. Esto quiere decir que cada recurso podría generar una cantidad de entidades, o *tokens*, simultáneamente.

En este tercer nivel se van a incluir restricciones de recursos para seguir aproximándonos a un supuesto real. Al introducir estas nuevas condiciones, habrá instancias que permanezcan a la espera de ser procesadas, creando cuellos de botella, reduciendo así la capacidad del proceso.

Además de reducir el tiempo de ciclo, se trata de minimizar el impacto también en términos de costes. El dinero es otro de los recursos clave implicados en un proceso, por lo que es conveniente analizarlo.

- **Datos de entrada.**

- Recursos. Bizagi permite definir los recursos implicados en el proceso, ya sea una persona, un equipo o un espacio. Para introducir y configurar un nuevo recurso, dentro de la vista de simulación, se pulsa la opción *Recursos* de la cinta de opciones como muestra la Figura 4.

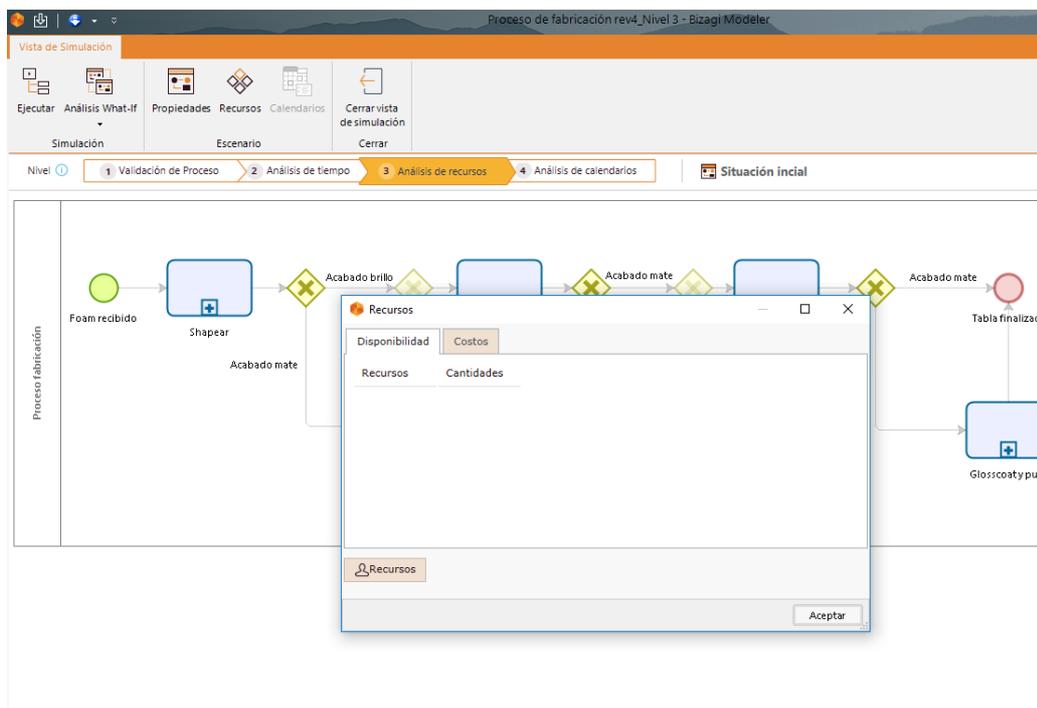


Figura 4. Definición de recursos

Para añadir un nuevo recurso se hace clic en el botón “Recursos” del cuadro de diálogo emergente, eligiendo dentro de las dos posibles opciones si el nuevo recurso es un rol (persona que controla o es responsable de un proceso o actividad) o una entidad.

- Disponibilidad y costos de recursos. En este caso se podrá determinar cuántos recursos hay disponibles de cada tipo de recursos para todo el proceso. En la Figura 5 se ha definido un recurso, en este caso un operario. En el cuadro de diálogo que muestra dicha figura aparecen dos pestañas: en la primera se define el número de recursos, mientras que en la segunda se indica el costo de cada recurso. Estos costos pueden ser fijos (cada vez que un recurso atienda a un token) o por hora (el coste generado por cada hora que el recurso emplee en un *token*).

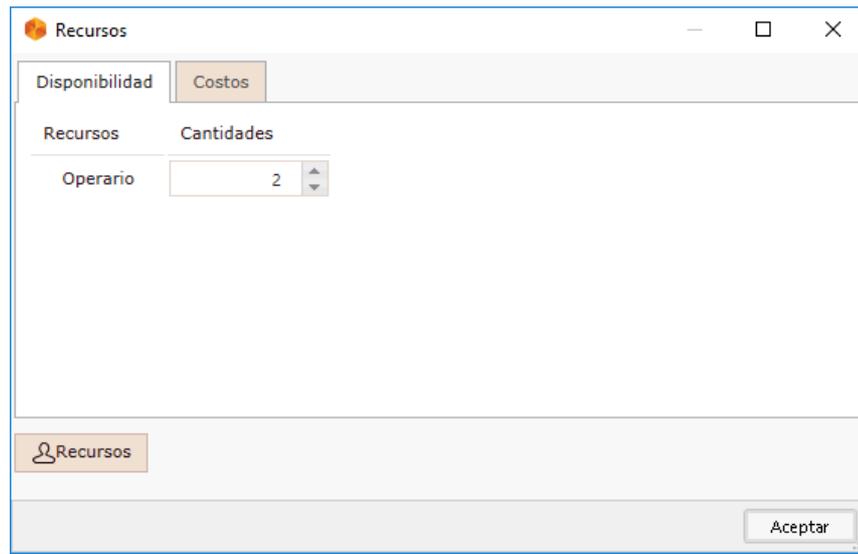


Figura 5. Cuadro de diálogo para la configuración de recursos

- Requerimiento de recursos. Se han estado definiendo los recursos de forma genérica, pero es necesario asignarle a cada tarea los recursos necesarios para desempeñarlas. En la Figura 6 podemos ver cómo al seleccionar el icono “Recursos” del menú circular que aparece durante la configuración de simulación alrededor de una actividad, el cuadro de diálogo emergente permite elegir de una lista todos los recursos definidos previamente. En este caso, sólo se ha definido un único recurso. El modo de selección AND/OR indica si la actividad utiliza todos los recursos seleccionados simultáneamente (AND) o si por el contrario sólo uno de ellos (OR).



Figura 6. Cuadro de diálogo para la asignación de recursos a actividades

Una vez elegidos los recursos, es necesario indicar cuántos son necesarios para desarrollar la actividad.

- Costos de actividades. En este nivel también podemos definir cuánto cuesta llevar a cabo cada una de las actividades. Para ello se hace clic sobre el icono “Coste” que se aprecia en el menú

circular de la Figura 6 y se define el coste que implica realizar esta tarea. Al introducir un valor, es necesario tener en cuenta las unidades definidas en la configuración del escenario, como se explica en el 3.1.5.

- **Datos de salida.**

En este caso, se obtendrá información no solo de las actividades, subprocesos y procesos como hasta ahora, sino de los recursos.

Para procesos y actividades, además de la información generada gracias a la configuración del segundo nivel como se especifica en el punto 3.1.3.2, en la tabla de resultados aparece:

- Tiempo mínimo que emplea una actividad en esperar a que un recurso quede libre para poder llevarla a cabo.
- Tiempo máximo que emplea una actividad en esperar a que un recurso quede libre para poder llevarla a cabo.
- Tiempo promedio que emplea una actividad en esperar a que un recurso quede libre para poder llevarla a cabo.
- Desviación estándar del tiempo que emplea una actividad en esperar a que un recurso quede libre para poder llevarla a cabo.
- Coste fijo total de ejecutar una actividad durante el tiempo de simulación.

Como se ha comentado, este nivel genera un nuevo campo de información en la tabla de resultados referidos a los recursos:

- **Uso:** indica el porcentaje de tiempo que un recurso estuvo ocupado durante el periodo de simulación.
- **Coste fijo total:** indica el coste fijo de uso de un recurso durante el periodo de simulación.
- **Coste unitario total:** indica el coste variable de uso de un recurso durante el periodo de simulación.

3.1.3.4 Nivel 4: Análisis de calendarios

En el último nivel se refleja la disponibilidad en el tiempo de los recursos definidos en el tercero, aproximándose aún más a la realidad.

Debido a las condiciones cambiantes a las que se encuentran sujetos los procesos (días festivos, turnos, fines de semana, etc.) es necesario reflejarlo también en nuestro modelo.

- **Datos de entrada.**
 - **Calendarios.** En un calendario se refleja la capacidad de los recursos ciertos periodos de tiempo. Para crear un nuevo calendario se accede a través del botón *Calendarios* y a continuación la opción *Agregar calendario*. Se podrán definir tanto turnos como periodos largos de tiempo.
 - **Asignación de calendarios.** Una vez definidos, se ha de definir la disponibilidad de los recursos en cada uno de los calendarios configurados. Esto último se realizará a través de la opción *Recursos* de la cinta de opciones. Para cada recurso definido hay que asignar la disponibilidad en cada uno de los calendarios.

3.1.4 Informe de resultados

Bizagi muestra los resultados de la simulación en diferentes formatos, como por ejemplo tablas o gráficos de

barras. Además, permite la exportación a Excel.

3.1.4.1 Resultados de simulación del Nivel 1

Una vez definidos los datos requeridos para el nivel que se quiera analizar, se lanza la simulación. Pulsando la opción *Ejecutar* de la cinta de opciones que se encuentra en la Vista de simulación, aparece la ventana que muestra la Figura 7. Cuando se hace clic en *Iniciar*, la simulación comienza a correr.

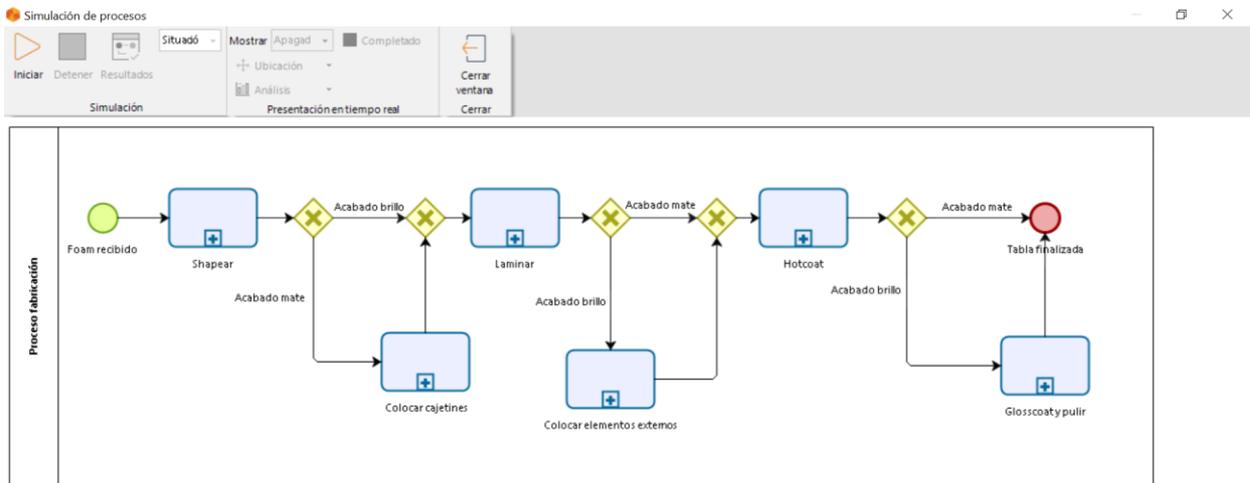


Figura 7. Ventana de Simulación de Procesos

Durante el periodo en el que la herramienta está ejecutando la simulación, ofrece en tiempo real una animación de la misma. De esta forma se puede comprobar que todo evoluciona tal y como se esperaba. En la Figura 8 se puede observar el recuento de las instancias completadas en los distintos puntos del diagrama de procesos. Como también se aprecia, la simulación puede ser interrumpida en cualquier momento.

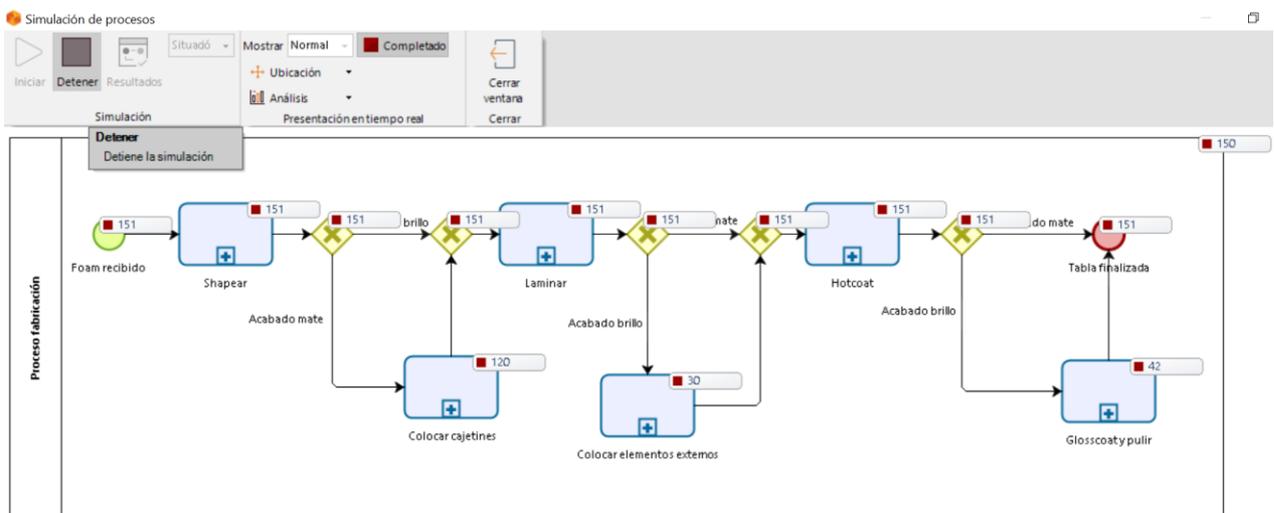


Figura 8. Ejecución de la simulación Nivel 1

Una vez completada la simulación, Bizagi permite ver un resumen de la simulación, tanto visualmente sobre el diagrama como se aprecia en la Figura 9, o en una tabla de resultados como se muestra en la Figura 10. En la esquina inferior izquierda de la Figura 9 se puede observar el tiempo que ha tardado en simular el escenario.

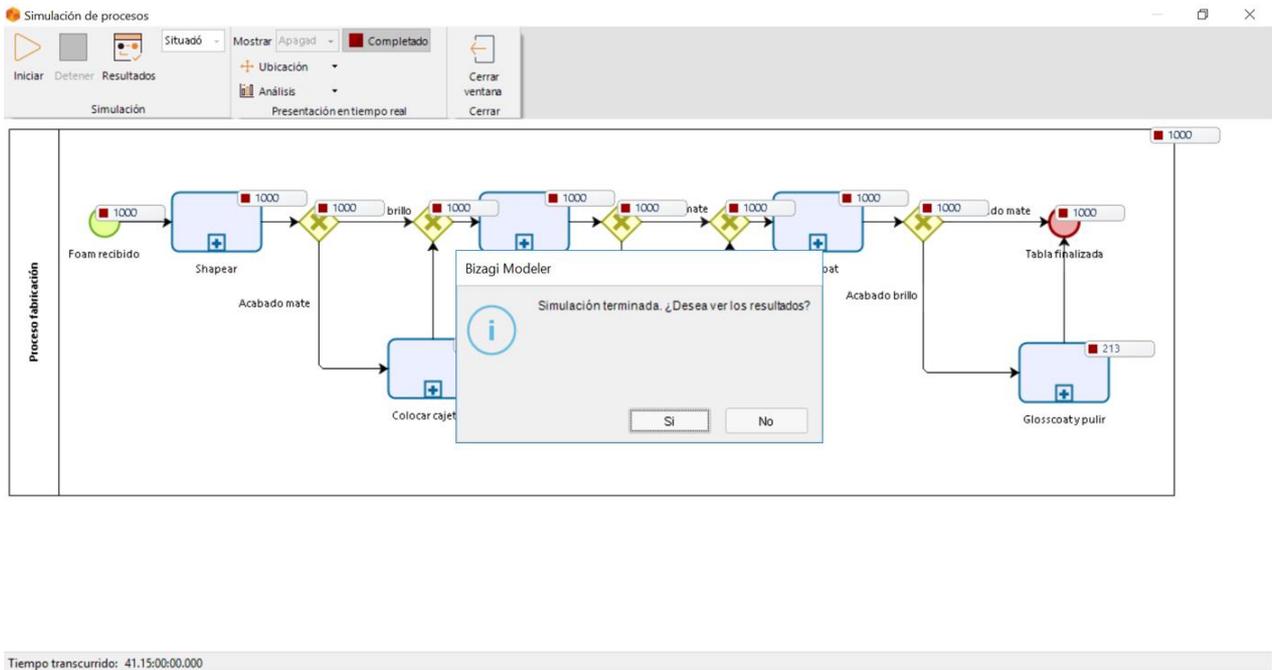


Figura 9. Simulación Nivel 1 completada

Bizagi devuelve los resultados tal y como se muestra en la Figura 10. Identifica el escenario simulado y, tanto para el modelo principal como para los subprocessos, crea una tabla con el nombre de cada uno de los atributos, el tipo y el número de instancias completadas en cada uno ellos. Además, estos resultados pueden ser exportados a Excel. Gracias a ello, los resultados de simulación pueden ser guardados y utilizados posteriormente para futuros análisis sin necesidad de correr de nuevo la simulación.

Información del Escenario		
Nombre	Situación Inicial	
Unidad de tiempo	Horas	
Duración	365,00:00:00	
Nombre	Tipo	Instancias completadas
Proceso fabricación	Proceso	1.000
ExclusiveGateway	Compuerta	1.000
ExclusiveGateway	Compuerta	1.000
Foam recibido	Evento de inicio	1.000
ExclusiveGateway	Compuerta	1.000
Tabla finalizada	Evento de Fin	1.000
ExclusiveGateway	Compuerta	1.000
ExclusiveGateway	Compuerta	1.000
Shapear	Proceso	1.000

Figura 10. Ejemplo de resumen de resultados de la simulación: Nivel 1

También permite cambiar la vista de las instancias completadas, representando el número de las mismas con una barra, tal y como se aprecia en la Figura 11. Estará completa si por ese elemento han pasado las 1000 instancias que han entrado.

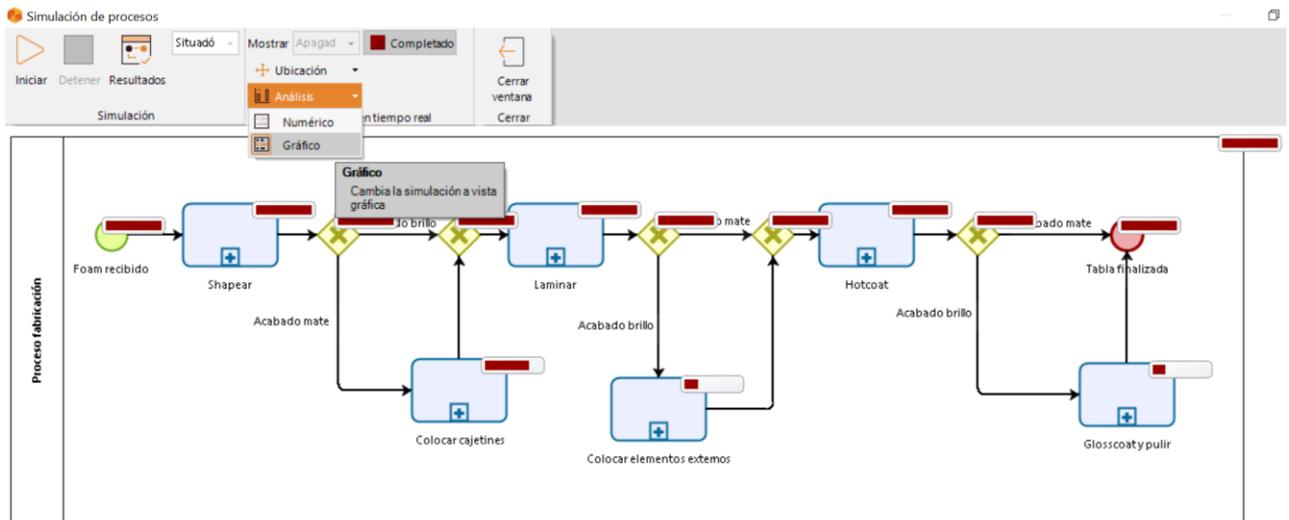


Figura 11. Vista gráfica de simulación

3.1.4.2 Resultados del Nivel 2 de simulación

Como se ha visto en el punto 3.1.3.2, el contenido de la tabla de resultados es cada vez mayor.

Al introducir todos los datos relacionados con los tiempos, ya sean de llegada, de procesamiento o de espera, y simular el modelo, Bizagi muestra una animación de simulación similar a la interfaz mostrada en la Figura 9. La diferencia es, que en este nivel además de mostrar las instancias que completadas que pasan por cada actividad, refleja el tiempo promedio y el tiempo total en cada una de ellas, tal y como se aprecia en dicha imagen; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** La leyenda de colores facilita la identificación de cada dato, al igual que la herramienta permite ocultar los datos que se deseen. Una vez completada a simulación, podemos comprobar en la Figura 12 que el número de datos de salida resultantes es mayor con respecto al nivel anterior.

Las unidades de tiempo de los resultados que se generan en este nivel suelen ser de un orden de magnitud alto, por lo que facilita la lectura de los mismos que Bizagi devuelva los datos expresados en días, horas, minutos y segundos. En la Figura 12 se pueden ver dichos resultados, sin embargo, al exportarlos a Excel los tiempos dados se reflejan en la unidad de tiempo configurada en el escenario.

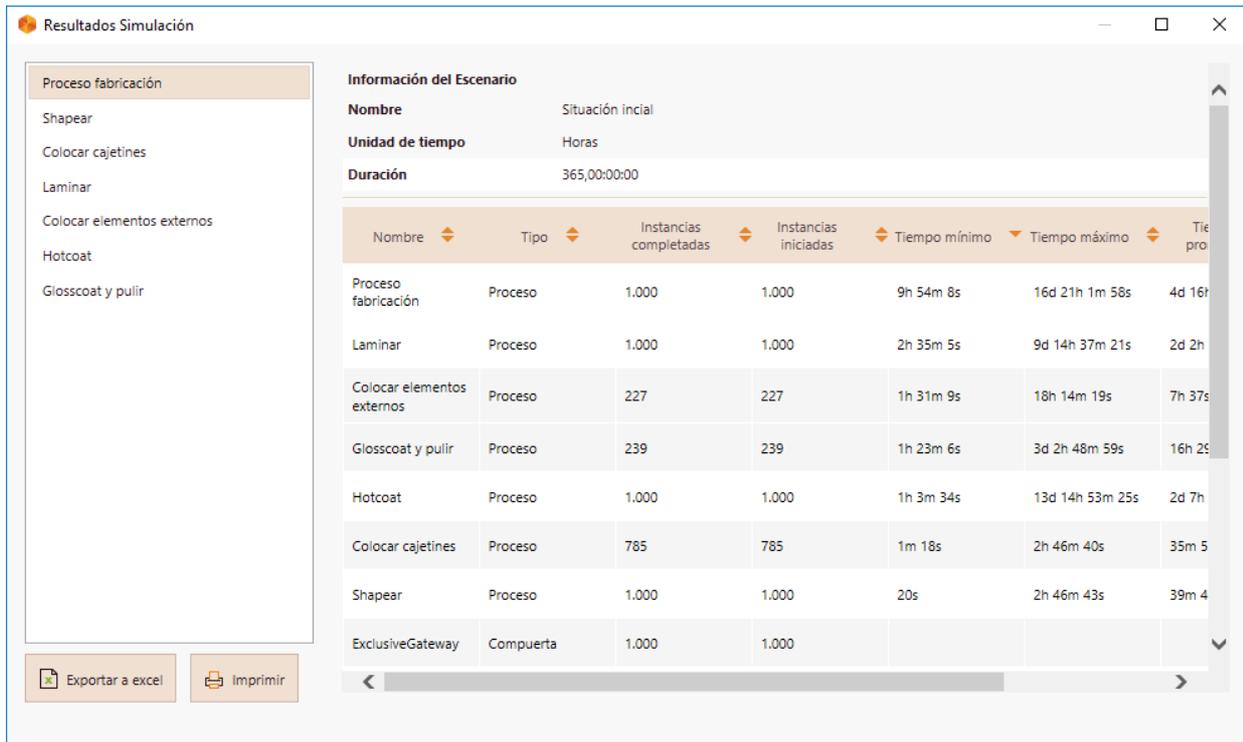


Figura 12. Ejemplo de resumen de resultados de la simulación: Nivel 2

3.1.4.3 Resultados del Nivel 3 de simulación

Al lanzar la simulación en el tercer nivel, durante el tiempo en el que se está ejecutando, es posible elegir qué datos ver en la animación de la misma. En este nivel se proporcionan, además de los anteriores, el tiempo promedio y el tiempo total de espera para que una actividad sea ejecutada. Además, tal y como se puede apreciar en la Figura 13, durante la animación se crea un gráfico con la ocupación de los recursos (de forma porcentual) en todo el proceso.

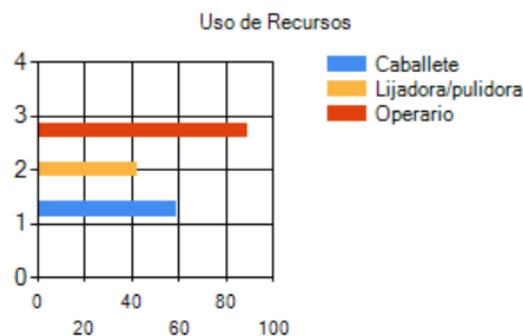


Figura 13. Gráfico de recursos. Animación de la simulación en el nivel 3

En el informe de resultados los recursos aparecen en una nueva pestaña, al igual que la información referente a cada uno de los subprocesos. En la Figura 14 se muestran la información que se proporciona en este nuevo apartado.

Resultados Simulación

Información del Escenario					
Nombre		Situación Inicial			
Unidad de tiempo		Horas			
Duración		365,00:00:00			
Recurso	Uso	Costo fijo total	Costo unitario total	Costo total	
Operario	89,12 %	0	0	0	
Lijadora/pulidora	42,48 %	0	0	0	
Caballete	59,41 %	0	0	0	
Total		0	0	0	

Figura 14. Ejemplo de resumen de resultados de la simulación: Nivel 3

3.1.4.4 Resultados del Nivel 4 de simulación

Al incluir condiciones cambiantes en cuanto a la disponibilidad de recursos en función del tiempo, el rendimiento obtenido del proceso será muy próximo a la realidad. Los resultados de este nivel reflejan esos efectos.

3.1.5 Escenarios

Bizagi Modeler permite crear diferentes escenarios para analizar distintas combinaciones de datos, observando de este modo los cambios que sufren los resultados en cada uno de los casos.

La configuración de cada uno de los escenarios es independiente, pudiendo ser modificados tanto los datos de cada elemento como la definición del escenario en sí.

Para poder configurar un escenario, es necesario acceder a *Vista de simulación*. Dentro de dicha vista, en la cinta de opciones se accede al cuadro de diálogo que muestra la Figura 15 haciendo clic en *Propiedades*

Propiedades del escenario

Nombre	Escenario 1
Descripción	
Autor	
Versión	1.0
Inicio	
Duración	0 días 0 hrs 0 mins 0 segs
Unidad de tiempo	Minutos
Unidad monetaria	ARS - Peso argentino
Replicación	0
Semilla	0

OK

Figura 15. Propiedades de un escenario

A continuación, se identifican los diferentes campos que se pueden configurar para definir el escenario en el que el modelo va a ser simulado:

- Nombre: nombre identificativo del escenario.
- Descripción: descripción escueta de los supuestos y cambios con respecto al escenario original.
- Autor: Nombre de la persona que ha creado el escenario.
- Versión: Versión del escenario.
- Inicio: Fecha de inicio de la simulación.
- Duración: Periodo de tiempo durante el que la simulación estará activa.
- Unidad base de Tiempo: Unidades en las que se mostrarán las medidas de tiempo.
- Unidad base de Moneda: Unidades monetarias en las que se mostrará la moneda seleccionada.
- Replicaciones: Número de réplicas de simulación para el escenario.
- Semilla: Valor de la semilla que es utilizada para la generación de números aleatorios.

3.1.5.1 Análisis *What-If*

Esta herramienta de mejoramiento permite evaluar el impacto de las decisiones estratégicas, tácticas u operativas previo a la implantación de dichos cambios. Basándose en el análisis *What-if*, la simulación permite reproducir de manera virtual las diferentes alternativas de diseño, con el fin de alcanzar la mejor configuración del proceso.

En Bizagi es posible realizar un análisis *What-if* en cualquiera de los niveles de simulación. Los resultados obtenidos en dicho análisis mostrarán a su vez los generados en el resto de escenarios, pudiendo ser comparados fácilmente. Por consiguiente, antes de correr este análisis, es necesario crear los escenarios que se desea contrastar. Una vez establecidos, durante la configuración de este escenario se han de seleccionar aquellos que quieran ser comparados. Con objeto de obtener resultados fiables, es recomendable realizar treinta replicaciones. De este modo, la simulación podrá alcanzar la estabilidad y proporcionar unos valores reales.

El resumen de resultados que genere dicho análisis incluirá toda la información deseada, comparando cada escenario.

3.2 Arena Simulation

Fuentes de información: (Automation, 2005; Fábregas, Wadnipar, Paternina, & Mancilla, 2003)

Arena es un potente software de modelado y simulación de procesos de diferentes áreas de negocio creado por *Rockwell Software*. Gracias a esta herramienta, es posible analizar el impacto que suponen los cambios en un rediseño de procesos. De este modo, se podrá simular el funcionamiento futuro de un sistema para entender las relaciones complejas del mismo e identificar oportunidades de mejora.

Arena es una herramienta gráfica dentro de un entorno de ventanas que combina la facilidad del uso de simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación.

La versión empleada es la 15.000.000 con licencia académica, por lo que hay que tener en cuenta la limitación de la herramienta en cuanto a número de bloques, entidades, etc.

3.2.1 Obtención del modelo

Arena se presenta como una herramienta orientada al proceso. Esto quiere decir que el objeto de estudio son las

entidades que se mueven a través de un sistema. Los procesos denotan la secuencia de actividades mediante las que se mueven estas entidades, por lo que el desarrollo de los modelos en dicho software se estructura sobre una base gráfica asociada a la construcción de diagramas de flujo. Por este motivo, Arena provee una serie de módulos gráficos que permiten desarrollar las descripciones de los procesos que van a ser modelados mediante la colocación y unión de los mismos. Los modelos definidos se ejecutan por medio de entidades, de no haber entidades que recorriesen los diagramas de flujo conformados la simulación no podría llevarse a cabo. Este concepto de entidad es el que Arena utiliza para definir cualquier persona, objeto o cosa, real o imaginaria, que se mueve por el modelo pudiendo causar cambios en el sistema.

Este software permite descender hasta la lógica de los propios eventos que conforman el modelo de simulación, es decir, accede al código en el que se ha construido dicho modelo. Este código es el usado por el lenguaje de simulación SIMAN, el que constituye la plataforma sobre la que se ha desarrollado Arena y todos los módulos que lo componen. SIMAN modela un sistema discreto utilizando la orientación al proceso.

Además de la representación de diagramas mediante unión de entidades, permite incluir módulos de usuario elaborados en otros lenguajes de programación, tales como FORTRAN, C o Visual Basic.

Dentro del entorno de modelado de Arena se pueden distinguir tres zonas, como se muestra en la Figura 16.

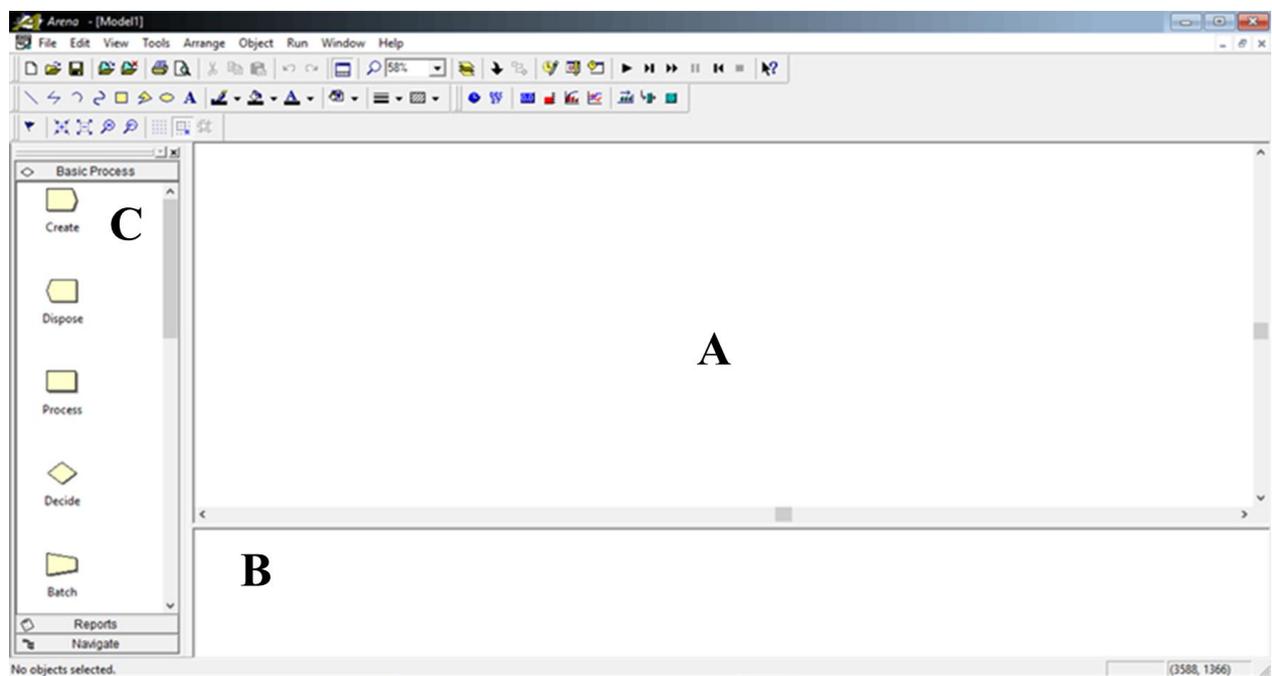


Figura 16. Interfaz Arena

- A. Ventana del diagrama de flujo del modelo (*Model window flowchart view*). Es el espacio en el que se construye el diagrama de bloques que describe el modelo que va a ser simulado. Todos los elementos gráficos y animaciones de las simulaciones se mostrarán en dicha área.
- B. Ventana de hoja de cálculo (*Model window spreadsheet view*). En esta ventana se pueden modificar los parámetros de los procesos y entidades.
- C. Barra de proyectos (*Project Bar*). Este espacio contiene varios paneles desplegables que permiten la construcción del modelo. Dichos paneles contienen los módulos mediante los que se va conformando el modelo. Además, incluye un panel de navegación con la vista del modelo que contiene la ventana A para facilitar la localización de este último.

Como se ha visto, los módulos son elementos básicos mediante los que son construidos los modelos en Arena. El diagrama resultante describe la dinámica asociada a los procesos que tienen lugar en el sistema, por lo que es conveniente identificar y contextualizar cada módulo, dejando clara su función en el proceso. Es posible hacer una distinción entre módulos de flujo y módulos de datos.

En la Figura 17 se muestran los módulos básicos que se utilizan para construir el diagrama de bloques.

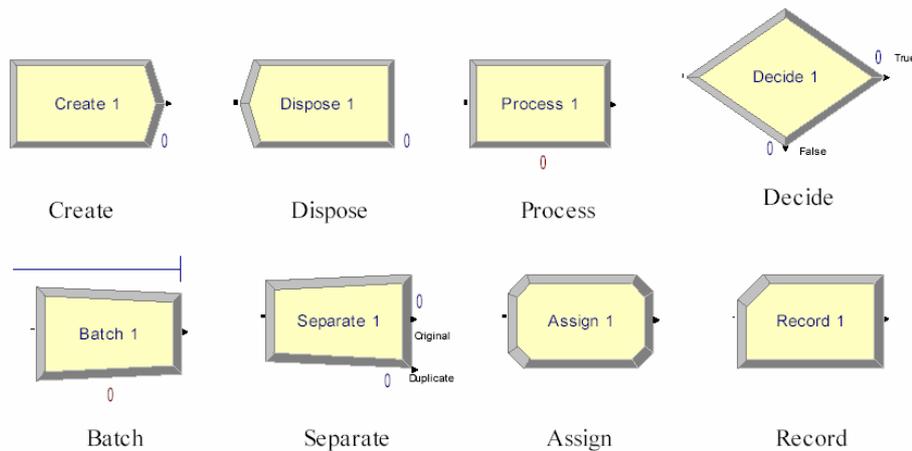


Figura 17. Módulos de flujo: Proceso básico

- **Create.** Es el módulo que da inicio al flujo de proceso. Además del punto de inicio de un proceso de producción, puede representar la llegada de un documento en un proceso de negocio o la de un cliente a un proceso de servicio.
- **Dispose.** Es el módulo que representa el final de las entidades en un modelo de simulación. Su uso más habitual es la finalización de un proceso de producción, aunque en el ámbito comercial puede indicar el abandono de clientes.
- **Process.** Este módulo corresponde al principal método de procesamiento en una simulación. Dispone de opciones para ocupar y liberar recursos. Además, existe la opción de especificar un “submodelo”. Representa una actividad a realizar, ya sea el tratamiento de una pieza, servir a un cliente o revisar un documento.
- **Decide.** Permite a los procesos tomar decisiones. Esta toma de decisiones puede ser en función de una o más condiciones, o basándose en probabilidades.
- **Batch.** Es el módulo que permite hacer agrupaciones dentro del modelo de simulación (creación de lotes). Las entidades que llegan a este módulo permanecen en cola hasta que el número que conforma el lote es alcanzado.
- **Separate.** Gracias a este módulo se pueden replicar una entidad entrante en múltiples entidades, o dividir una agrupación. Cuando un lote existente se segmenta, la entidad temporal que se había formado es destruida, recuperando de nuevo las entidades que originalmente formaron el grupo. En el símbolo que representa a dicho módulo, el original sale por la rama superior mientras que el duplicado por la inferior.
- **Assign.** Cambia el valor de algunos parámetros durante la simulación, como el tipo de entidad o las variables del modelo. Con este módulo es posible asignar valores nuevos a las variables, atributos de entidad, tipos de entidad, figuras de entidades u otras variables del sistema.
- **Record.** Este módulo representa el final de las entidades en un modelo de simulación y recolecta las estadísticas antes de que las entidades se eliminen del modelo.

Además de estos elementos básicos, hay otros dos paneles de módulos. La Figura 18 y Figura 19 muestran los módulos de flujo de proceso avanzado y proceso de traslado avanzado, respectivamente.

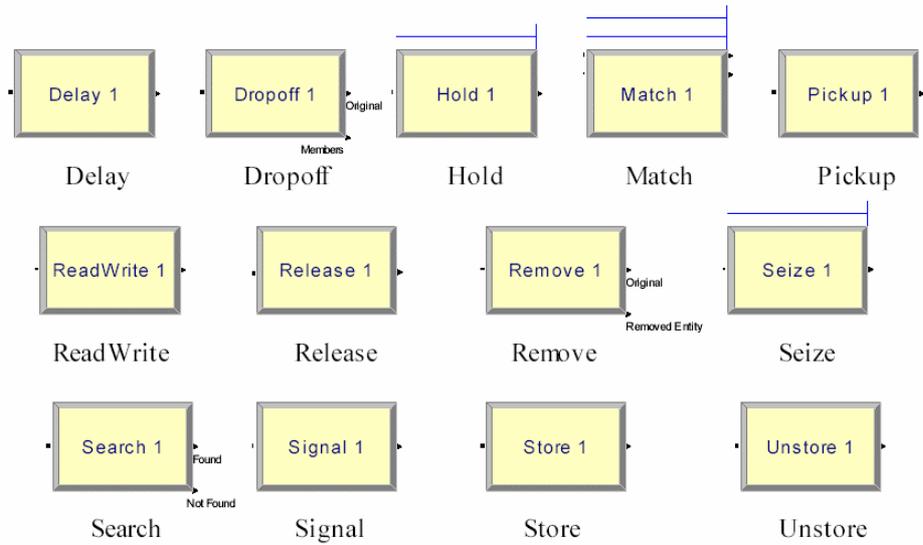


Figura 18. Módulos de flujo: Proceso Avanzado

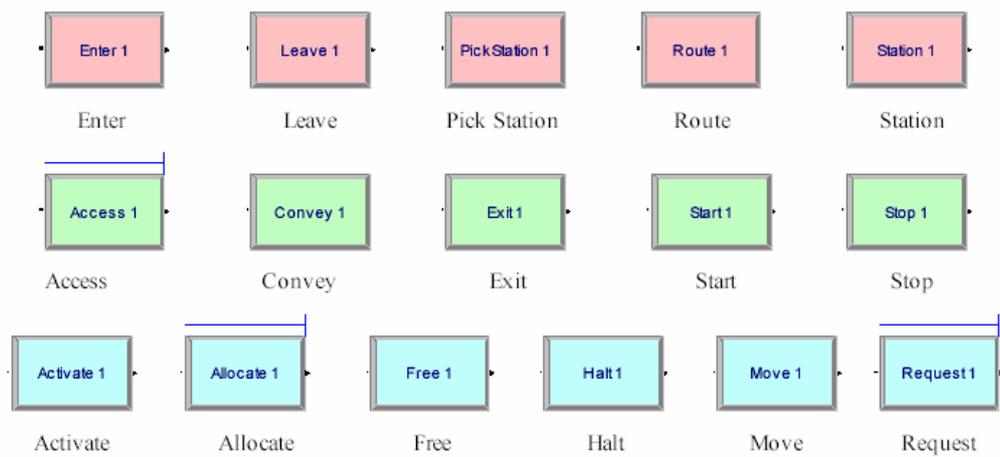


Figura 19. Módulos de flujo: Proceso de Traslado Avanzado

Los módulos de datos, a diferencia de los de flujo, no se ubican en la ventana A, sino que se editan de manera similar a una hoja de cálculo y se visualizan en la ventana de hoja de cálculo, B. Normalmente se usan los módulos mostrados en la Figura 20, aquellos que se encuentran en la pestaña de Proceso Básico.

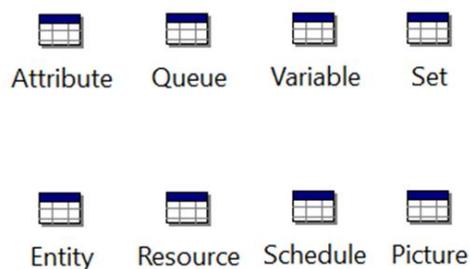


Figura 20. Módulos de datos: Proceso Básico

- **Atributte.** En este módulo de datos se puede definir un tipo de entidad atributo, dimensiones y valor inicial. También puede hacer referencia a atributos en otros módulos, asignar nuevos valores a los tributos con el módulo *Assign* y el uso de atributos en cualquier expresión.
- **Entity.** Permite definir distintos tipos de entidad y sus valores de imagen inicial en una simulación.
- **Queue.** Con este módulo se definen las colas en el sistema de simulación. Por defecto, la regla de la cola es “*First In, First Out*”, es decir, la primera entidad que entra en la cola es la primera en salir. Sin embargo, tiene la opción de cambiar la regla de clasificación dentro de una cola.
- **Resource.** Este es el módulo mediante el que se definen los recursos en el sistema, incluyendo información de costes y disponibilidad de recursos.
- **Variable.** Este módulo define la dimensión de una variable y su valor inicial. Las variables se pueden referenciar en otros módulos, volver a asignar un nuevo valor con el módulo *Assign* y pueden ser empleadas en cualquier expresión.
- **Schedule.** Este módulo en conjunción con el módulo *Resource* permite la definición de una operación de planificación para un recurso. Si se une con el módulo *Create*, define un horario de llegada.
- **Set.** En este módulo se pueden definir varios tipos de conjuntos, incluidos recursos, contadores, cuentas, tipos de entidad y figuras de entidad.
 - Los conjuntos de recursos se pueden utilizar en los módulos *Process: Seize, Release, Enter y Leave*. Estos se encuentran en el panel *Advanced Process*.
 - Los conjuntos *Counter y Tally* se pueden usar en el módulo *Record*.
 - Los conjuntos *Queue* se pueden utilizar con, *Seize, Hold, Access, Request Leave y Allocate*. Estos módulos se encuentran en los paneles *Advanced Process y Advanced Transfer*.

Este tipo de módulos se puede utilizar para representar maquinaria que realiza la misma operación en un proceso de fabricación.

Por último, además de las tres zonas de trabajo anteriormente citadas, es importante destacar la barra de herramientas de la interfaz de Arena. En ella se encuentran las pestañas y botones necesarios para configurar y correr simulaciones, así como otras funciones que se irán viendo a lo largo de este punto. Se puede apreciar el aspecto de dicha barra en la Figura 21.



Figura 21. Barra de herramientas de Arena

3.2.2 Vista de simulación

Los datos de simulación en Arena se van introduciendo a medida que el modelo es construido.

Cuando se lanza la simulación se puede elegir entre hacerlo con animación o en modo *Batch*. En el caso de querer acceder directamente a los resultados finales, se puede seleccionar la opción de ejecutar sin animaciones desde la ruta *Run/Run Control/Batch Run (No Animation)*, y así reducir a cero el tiempo de simulación.

Si se desea observar el comportamiento durante la ejecución de la simulación (comprobar el estado de las variables o evolución de la gráfica) seleccionando el botón *Go* de la barra de herramientas la simulación comienza a correr. Además, es posible tanto modificar la velocidad de simulación como moverte a través de la misma.

3.2.3 Datos de simulación

En el caso del simulador de Arena, los parámetros de los diferentes módulos se introducen durante el modelado del diagrama. Debido a esto, para observar los datos de entrada requeridos por esta herramienta, sería necesario analizar todos los módulos. Para modelar el caso práctico que se define posteriormente, casi todos los bloques que han sido utilizados son de proceso básico, por lo que sólo describiremos aquellos mostrados en la Figura 17.

- **Create.** Tal y como se vio en el punto 3.2.1, es el módulo en el que se define la entrada de entidades. Con motivo de identificar los campos a rellenar para llevar a cabo una correcta configuración del bloque, se muestra en la Figura 22 el cuadro de diálogo de dicho módulo.

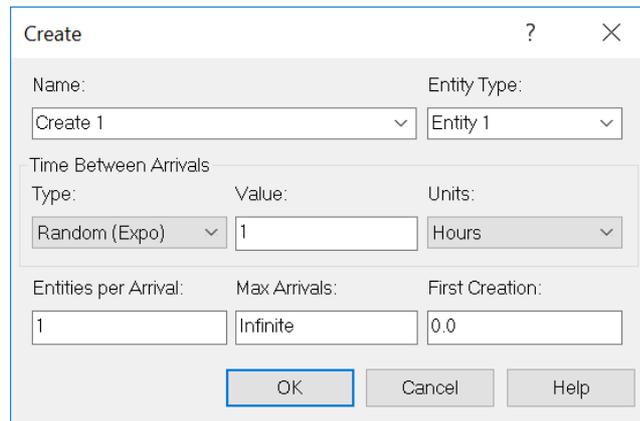


Figura 22. Cuadro de diálogo módulo *Create*

Como puede observarse, los datos de entrada son:

- Tipo de entidad: Arena permite la creación de varios tipos de entidades. En ese caso, es necesario definir un módulo *Create* por cada entrada.
 - Tiempo entre llegadas: Para determinar la forma en la que llegan las entidades permite hacerlo de forma aleatoria (*Random*), de acuerdo con una programación establecida (*Schedule*), un número constante (*Constant*) o definiendo una distribución estadística (*Expression*). Entre estas últimas se encuentran Exponencial Negativa, Triangular, Poisson, Weibull, Beta, Uniforme, etc. Además, es necesario definir la unidad de tiempo.
 - Entidades por evento de llegada. Al definir este número estamos indicando el número de instancias que entran en el modelo cada vez que se produce el evento de llegada. Esto quiere decir que las llegadas pueden ser lotes en lugar de unidades. Para ello también permite la definición de una distribución.
 - Número máximo de llegadas. Define el número máximo de entidades que pueden entrar en el sistema. Una vez alcanzado este número no se generan más.
 - Primera creación. Este valor indica el momento en el que se genera la primera entidad.
- **Dispose.** En la configuración del módulo de salida sólo es necesario marcar la casilla que indica si se desea la recolección de estadísticas relacionadas con la entidad (*Record Entity Statistics*).
 - **Process.** Este módulo se emplea para definir un proceso u operación que se le aplique a una entidad con una duración asociada. Para ello es necesario definir varios campos:
 - Tipo de módulo Process. En primer lugar, es necesario especificar si será un Proceso o un Subproceso. En el caso de ser esta última opción, se definirá dentro del mismo el proceso que lo compone.

- **Acción.** En este campo se define la acción o acciones que va a seguir la entidad cuando entre en el módulo. El tiempo indicado puede representar cuatro opciones: la entidad demora sin ocupar recursos (*Delay*), la entidad ocupa un recurso y sufre una demora sin liberarlo (*Seize, Delay*), la entidad ocupa un recurso, sufre una demora y finalmente lo libera (*Seize, Delay, Release*) o la entidad había ocupado un recurso previamente y al entrar en el módulo sufre una demora y finalmente lo libera (*Delay, Release*). En el caso de la Figura 23, la acción que realiza una entidad que entra en este módulo ocupa un recurso, causando una demora y liberándolo finalmente; permaneciendo activo el campo en el que se configuran los recursos empleados.

Figura 23. Cuadro de diálogo del módulo *Process*

Si tras haber seleccionado el tipo de acción la entidad ocupa un recurso, dicho recurso tiene que ser definido en el módulo de datos *Resources*, tal y como se comentó en el punto 3.2.1. En esa misma tabla también se definen los costes por hora de uso, por hora ociosa y por pieza procesada en dicha tabla para cada uno de los recursos. Dentro del módulo *Process* sólo hay que indicar las unidades que esa entidad consume en este proceso. En el campo *Priority* se refleja la prioridad que tienen las entidades a la hora de solicitar un recurso que también es usado en otras actividades.

El tiempo de proceso se introduce de forma análoga al módulo explicado anteriormente.

- **Decide.** Este módulo permite que los procesos tomen decisiones en el sistema. Estas decisiones pueden basarse en una condición o en función de un porcentaje. Las condiciones pueden basarse en valores de atributos, valores de variables, tipo de entidad o una expresión. En primer lugar, es necesario indicar cómo se va a dividir el flujo de entidades:
 - **Tipo.** Muestra si la decisión se basará en una condición o si es aleatoria/porcentual. Existen cuatro posibles opciones:
 - **2-Way by Chance:** el porcentaje de entidades que cumplan con el valor de la probabilidad definido saldrán por la rama *True* del módulo, el resto seguirá el camino

False.

- 2-Way by Condition: permite definir una condición. Todas aquellas entidades que no cumplan dicha condición tomarán la salida *False* del bloque.
 - N-Way by Chance: en este caso hay múltiples salidas, una por cada probabilidad definida.
 - N-Way by Condition: al igual que en el caso anterior habrá tantas ramas *True* como condiciones se hayan definido.
- **Batch**. Con este módulo pueden formarse lotes (grupos de entidades). Las entidades que ingresan quedan retenidas hasta completar el número que compone el lote. Una vez que la entidad se ha cumplido, una entidad representativa del lote se libera, siguiendo el recorrido del flujo. Para ello se deben definir los siguientes campos:
 - Tipo. Indica el método de agrupamiento de las entidades. Puede ser temporal o permanente.
 - Tamaño del lote (Batch Size). Muestra el número de entidades que van a ser agrupadas. Puede ser un número o una variable.
 - Criterio de asignación (Save Criterion). Especifica la manera en la que se transferirá al lote los atributos de las entidades que lo forman. El grupo contará con los mismos atributos de éstas, pero el valor cambia en función de algunos criterios. Estos criterios de asignación pueden ser:
 - Primero (*First*): los atributos de la entidad representativa tendrán el valor de la primera entidad que entra en el módulo *Batch*.
 - Último (*Last*): la entidad representativa tomará el valor de los atributos de la última entidad que entra en el módulo.
 - Suma (*Sum*): la suma de los valores de los atributos de las entidades que forman el lote formará el valor de los atributos de la entidad representativa.
 - Producto (*Product*): este criterio funciona de manera análoga al de la suma, solo que el valor de los atributos de la entidad representativa será el producto de los individuales.
 - Regla para la formación del lote (Rule). Determina la forma en la que se agruparán las entidades que llegue. Se pueden formar para cualquier tipo de entidad (*Any entity*) o para entidades con el mismo valor de atributo (*By attribute*). En este último caso es necesario especificar el tipo de atributo que se va a emplear. El campo en el que se señala sólo se habilita cuando se elige esta opción.
 - **Separate**. Este módulo se usa para separar un lote temporal en las unidades que lo componen. También se utiliza para duplicar entidades. Para configurar correctamente este bloque es necesario introducir los siguientes datos:
 - Tipo. Se especifica el tipo de acción que se desarrolla con el módulo. Como se ha comentado anteriormente puede ser de desarme de lotes (*Split Existing Batch*) o de duplicación de entidades (*Duplicate Original*).
 - Tratamiento de atributos (Member attributes). Al igual que vimos en el módulo *Batch* para la unión de entidades, es necesario establecer una regla para la transferencia de los atributos de la entidad representativa del lote hacia las entidades que lo componen. Estos criterios pueden ser:
 - Retener valores originales (*Retain Original Entity Values*). Al desmembrar el lote, las entidades conservan los valores que tenían en un origen sus atributos.
 - Asignar todos los valores representativos (*Take All Representative Values*). Si seleccionamos esta opción, el programa asigna los valores de los atributos de la entidad representativa a las entidades que la forman.

- Asignar sólo valores representativos específicos (Take Specific Representativ Values). Este criterio sólo permite asignar los valores de los atributos del lote a ciertos atributos de las entidades individuales. Estos atributos se seleccionan desde un cuadro de lista que se habilita al elegir esta opción. Aquellos atributos que no hayan sido seleccionados conservan su valor original al salir del módulo.
- **Assign.** Como vimos en el punto 3.2.1, este módulo permite asignar valores nuevos tanto a las variables como a los atributos de las entidades, así como crear tipos de entidades y figuras de los mismos.

En el cuadro de diálogo de este módulo, además de introducir el nombre identificativo único como en el resto, podemos editar el campo Asignaciones. De esta forma las asignaciones que se especifiquen serán llevadas a cabo cuando la entidad ejecute el módulo.

En la Figura 24 se puede observar el cuadro de diálogo de este módulo. Al hacer clic en *Add*, se abre el cuadro que permite añadir una nueva asignación.

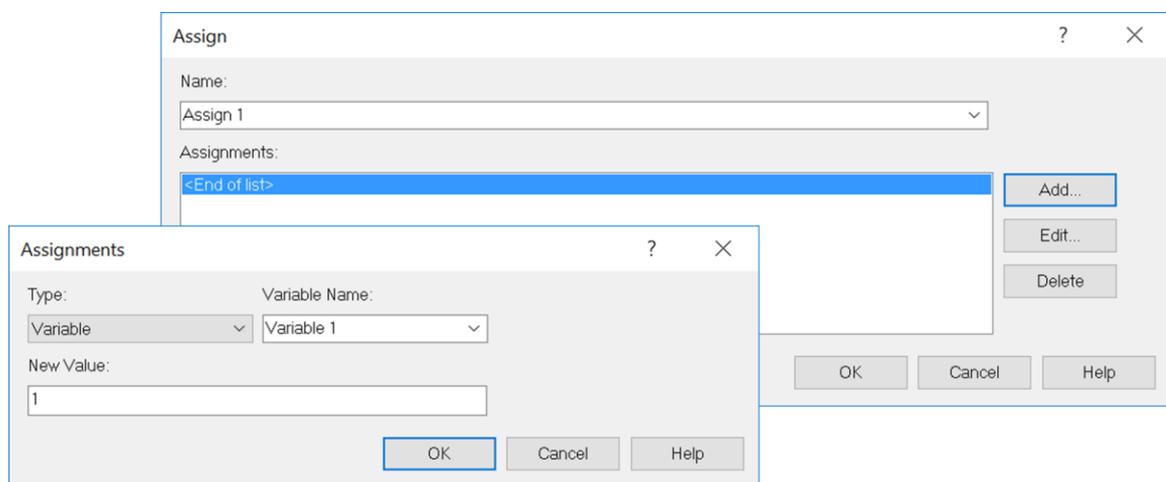


Figura 24. Cuadro de diálogo módulo *Assign*

Los campos que hay que completar en la ventana en la que se configuran las asignaciones son:

- Tipo. De las posibles opciones del desplegable elegiremos el tipo de asignación que se va a realizar. Se podrá elegir entre:
 - Variable (Variable): nombre de la variable a la cual se le asignará un nuevo valor.
 - Atributo (Attribute): nombre del atributo de la entidad que recibirá el nuevo valor.
 - Tipo de entidad (Entity Type): nuevo tipo de entidad que se le asignará a la ya existente al pasar por el módulo.
 - Figura de la entidad (Entity Picture): nueva imagen que se le asignará la entidad.
 - Otro (Other): permite identificar la variable del sistema especial a la que se le asignará un nuevo valor.
 - Nuevo valor. En este campo de indica el nuevo valor que recibirá el atributo o variable indicado previamente.
- **Record.** Este módulo normalmente se utiliza para recolectar estadísticas o como conteo de entidades.

En el cuadro de diálogo de dicho módulo, al añadir la definición de una nueva estadística, únicamente hay que especificar el tipo de estadística que va a seguir:

- Tipo: define el tipo de estadístico que se va a generar. Permite la elección entre cuatro opciones:
 - Count. Actúa como contador, aumentando o disminuyendo el valor de un estadístico en una cierta cantidad especificada.
 - Entity Statistics. En este caso genera estadísticas generales de las entidades que atraviesan el bloque entidades
 - Time Interval. Calcula y almacena la diferencia entre el tiempo actual de simulación y el valor almacenado en algún atributo.
 - Time Between. Almacena los tiempos entre entradas de entidades en el módulo.
 - Expression. Almacena el valor de una expresión que el mismo usuario especifica.

Además de los módulos descritos, se emplearán algunos del panel de Proceso Avanzado para la construcción del modelo. Esos bloques se definirán con mayor detalle en el punto 5.

3.2.4 Informe de resultados

Mediante la interpretación del informe generado tras la simulación es posible evaluar las condiciones del proceso o del negocio representado en nuestro diagrama de flujo, por lo que es importante prestar especial atención a los resultados obtenidos.

Desde la barra de herramientas que se muestra en la Figura 21 podemos acceder al cuadro de diálogo de configuración de corridas a través de las instrucciones *Run/Setup*. En dicha ventana aparecen múltiples pestañas para configurar y modificar diferentes aspectos de la simulación. Mediante la pestaña *Reports* se accede al cuadro de diálogo mostrado en la Figura 25, que permite definir la manera en la que Arena mostrará este informe que contiene los resultados de simulación.

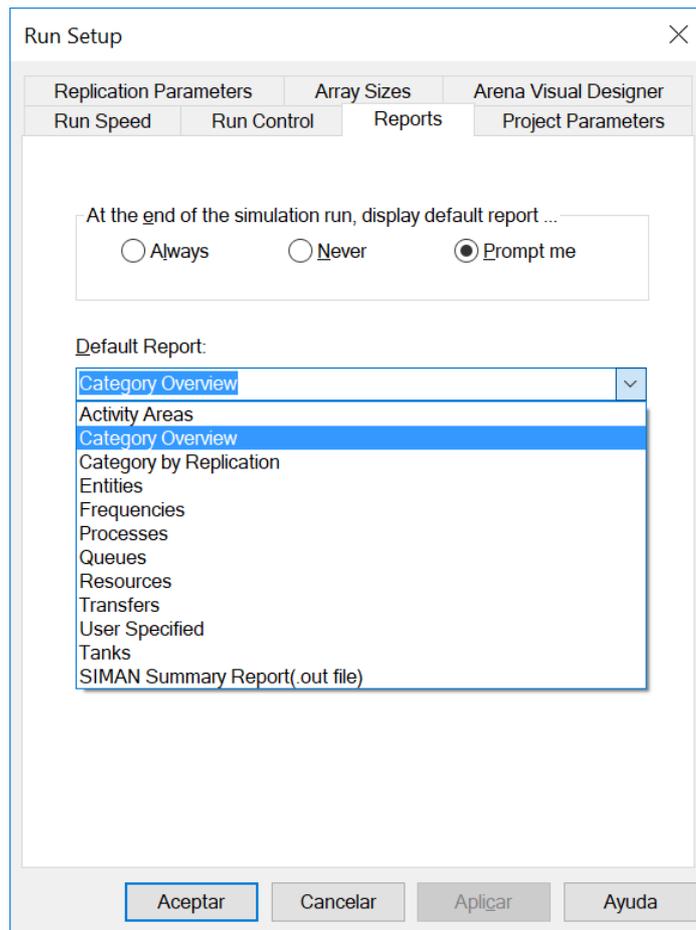


Figura 25. Cuadro de diálogo informes de resultados (*Reports*)

En este caso es posible configurar si queremos, una vez finalizada la simulación, que el informe aparezca siempre por defecto (*Always*), nunca (*Never*) o que un cuadro de diálogo emergente nos pregunte antes de mostrarlo (*Prompt me*).

Además, es posible seleccionar el tipo de informe que se desea como predeterminado (*Default Report*). En la Figura 25 se muestran las posibles opciones. La más completa es la que viene por defecto, presentando un informe con una visión global de todos los elementos y actividades. Sin embargo, lo más cómodo es exportar esos resultados a un archivo de texto eligiendo la última opción del desplegable (*SIMAN Summary Report*). Si se escogiese la opción de visualizar los datos dentro de la interfaz del programa, al concluir la simulación aparece el explorador de reportes, mostrado en la Figura 26. Dentro de la misma, se distinguen las diferentes secciones a las que se puede acceder para visualizar los resultados. Para ello, se despliega la sección correspondiente y se elige el ítem específico que se desea observar.

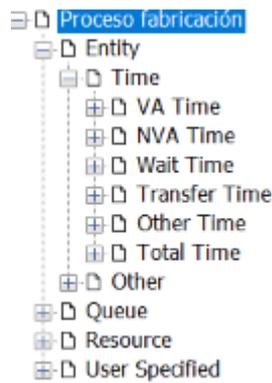


Figura 26. Explorador de reportes Arena

3.2.5 Escenarios

Tras la construcción del modelo, se deben fijar los parámetros necesarios para la ejecución de la simulación. Algunos datos pertenecen a la información del modelo, por lo que a estas alturas ya han sido introducidos. Sin embargo, el número de réplicas, el tiempo de simulación, las unidades de tiempo o el periodo de estabilización son parámetros que hay que definir previamente antes de ejecutar una simulación.

La configuración de un escenario de simulación se accede de la manera mostrada en el punto 3.2.4, en el que se mostraba la forma de configurar los informes de resultados. En dicho apartado vimos que el cuadro de diálogo que surge al seguir la instrucción *Run/Setup* presenta diferentes pestañas. En este caso nos centraremos en un par de ellas. La Figura 27 muestra el cuadro de diálogo en el que se configuran los parámetros generales de la simulación.

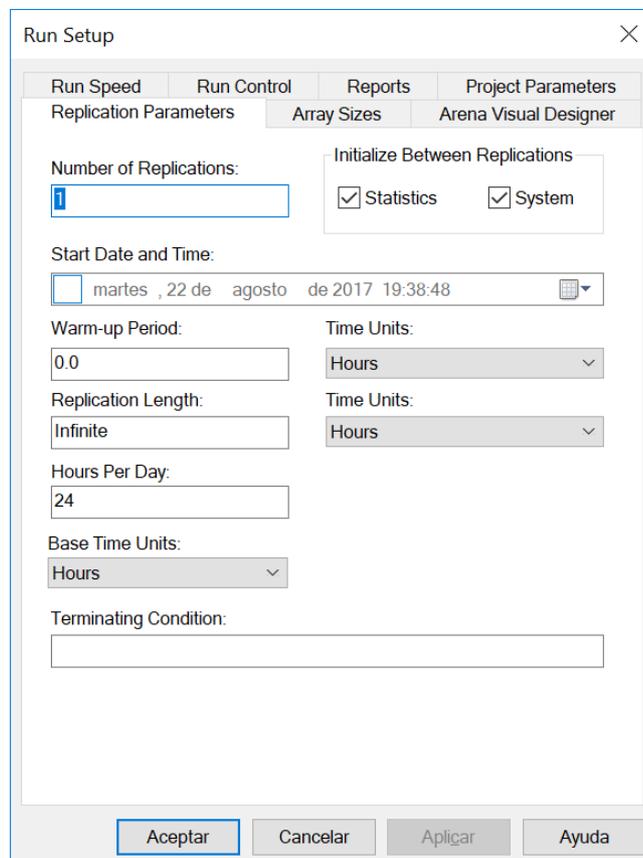


Figura 27. Cuadro de diálogo Parámetros de corrida (*Replication Parameters*)

En este cuadro se pueden configurar los siguientes campos:

- Número de corridas o réplicas (*Number of Replication*).
- Inicialización entre réplicas (*Initialize Between Replications*). Pueden marcarse dos casillas: inicialización de estadísticas (*Statistics*) o a opción de inicialización del sistema entre réplicas (*System*). En el primer caso, si no se activa, en el momento en el que se calculan todas las estadísticas se mezclan los datos de todas las replicaciones o corridas. La segunda casilla, en el caso de no marcarse, cada réplica no comenzaría con cero entidades, sino que partiría con las condiciones finales del anterior.
- Fecha y hora de inicio (*Start Date and Time*).
- Periodo de inicialización (*Warm-up Period*).
- Unidades de tiempo en el que se expresa el periodo anterior (*Time Units*).
- Duración de la corrida (*Replication Length*).
- Horas por día (*Hours Per Day*). Indica la duración de un día de trabajo en horas, puede tomarse como una jornada laboral.
- Unidades de tiempo del modelo (*Base Time Units*). Expresa las unidades de tiempo en las que se basa el modelo, tanto para la visualización como para los reportes.

3.2.5.1 Análisis What-If

Mediante el Analizador de Procesos (*Process Analyzer*) que se encuentra en la pestaña *Tools* de la barra de herramientas se pueden generar, evaluar y completar diferentes escenarios, en función de una o varias variables de respuesta. Para configurarlos, es necesario seguir tres pasos:

1. Creación de escenario(s).

Una vez abierto el Analizador de Procesos se definirán las propiedades del primer escenario. Al hacer doble clic para agregar uno nuevo, se abre el cuadro de diálogo donde se reflejará esta información. Se le asignará un nombre para identificar dicho modelo, una breve descripción que lo diferencie del resto y la ubicación del archivo que va a ser analizado.

Es importante que el modelo que se quiere estudiar haya sido previamente guardado y revisado por Arena para que el archivo con extensión *.p sea generado, ya que es el requerido por el analizador de procesos (*Siman Program File*).

2. Definición de controles.

En la opción Control de la pestaña *Insert* que se encuentra en la barra de herramientas del Analizador se selecciona el control (factor controlable) que se desee analizar. Una vez elegido, se define el valor que se le quiera asignar a dicho control para el presente escenario.

3. Definición de variables de respuesta.

Existen cuatro categorías a la hora de seleccionar las variables de respuesta: Entidades, Colas, Recursos y Sistema. El tiempo de espera, los tiempos en el sistema y el número de entidades son las variables más comunes, y pertenecen a la categoría Sistema.

Mediante la ruta *Insert/Response* podemos acceder a la ventana que muestra las posibles variables de respuesta a escoger. Sólo es posible seleccionar una variable a la vez, por lo que al introducirla en el actual escenario haciendo pulsando el botón *OK* es posible introducir una nueva volviendo a la ventana anterior. Haciendo clic derecho sobre la variable de respuesta, es posible editar sus propiedades (encabezado que aparecerá en la tabla resumen del escenario, breve descripción o número de decimales).

Una vez configurado el primer escenario, haciendo clic derecho sobre el botón de selección del escenario, aparece un menú contextual que permite duplicar el escenario definido. De este modo, si cambiamos los valores de este segundo escenario, es posible realizar una comparación entre ambas situaciones, pudiendo evaluar los resultados de los diferentes cambios para así llevar a cabo una posible mejora.

Al igual que para correr la simulación de un modelo en concreto, para ejecutar la corrida de varios escenarios seleccionando la opción *Go* aparece el cuadro de diálogo que nos permite elegir los escenarios que se quieren simular.

Además de los datos proporcionados por el informe de resultados, es posible realizar gráficos con las variables de respuesta deseadas, ya sea por escenario o por réplica.

4 PRESENTACIÓN CASOS PRÁCTICOS

4.1 Introducción

Como se ha visto anteriormente, las herramientas de simulación son imprescindibles en un negocio, ya sea para analizar recursos, tomar decisiones o, directamente, diseñar un proceso.

El objetivo de este documento es analizar el alcance de algunas herramientas de simulación y tener en cuenta las funciones de las mismas. Para hacerlo de manera más visual, se van a modelar y simular dos casos prácticos.

Los datos han sido extraídos de *Grandppa*, un taller de fabricación de tablas de surf. Se encuentra en la localidad asturiana de Gijón, en un pequeño polígono industrial. Se dedican a la fabricación y venta de tablas de surf, realizadas a mano de manera tradicional y customizadas según las exigencias del cliente en cuanto a medidas y colores.

El equipo humano consta de dos trabajadores, ambos operarios y encargados de todo el proceso productivo, desde la obtención de la materia prima, hasta la conversión de ésta en el producto final. Sólo fabrican bajo pedido, y el cliente recoge la tabla en el propio taller o asume los costes de envío, no interviniendo la empresa en servicios posteriores a la venta.

He elegido esta empresa con el objeto de poder representar un proceso al que pudiese tener total disponibilidad de la información. Debido a que conozco a las personas responsables del negocio, he podido utilizar datos fiables para poder construir los modelos. De esta forma se podrán extraer conclusiones más precisas acerca del alcance de las diferentes herramientas.

El alcance del trabajo que realizan los encargados del taller va desde la recepción del pedido del cliente hasta la entrega y venta del producto, aunque nosotros nos vamos a centrar únicamente en el proceso de fabricación, desde que se recibe la materia prima hasta que esta es transformada en el producto final. Para contextualizar dicho proceso productivo, a continuación, se explica el proceso completo de gestión. Posteriormente, se procederá a explicar con mayor detalle el caso práctico que servirá de ejemplo.

4.2 Proceso de gestión

El alcance del trabajo que realizan los encargados del taller va desde la recepción del pedido del cliente hasta la entrega y venta del producto. Por lo tanto, las actividades que intervienen en este proceso son:

1. *Recibir el encargo de una nueva tabla.* Cuando un cliente se pone en contacto vía correo electrónico, teléfono o de manera presencial en el taller, los operarios analizan los pedidos hasta la fecha y dan un plazo aproximado de finalización al cliente. Hasta que no tienen dos tablas encargadas, no pasan a realizar el pedido del material, de esta manera pueden ahorrar en el coste de los portes.
2. *Diseñar el foam.* Para definir las dimensiones de la tabla se utiliza un programa de diseño llamado “*Shape 3D*”. Con él se diseña en tres dimensiones la forma de la tabla, o *shape*, como se muestra en la Figura 28. Gracias al diseño en tres dimensiones se podrán variar las medidas de las tablas en función de las necesidades del cliente sin alterar el comportamiento de las mismas, ya que las proporciones no varían.

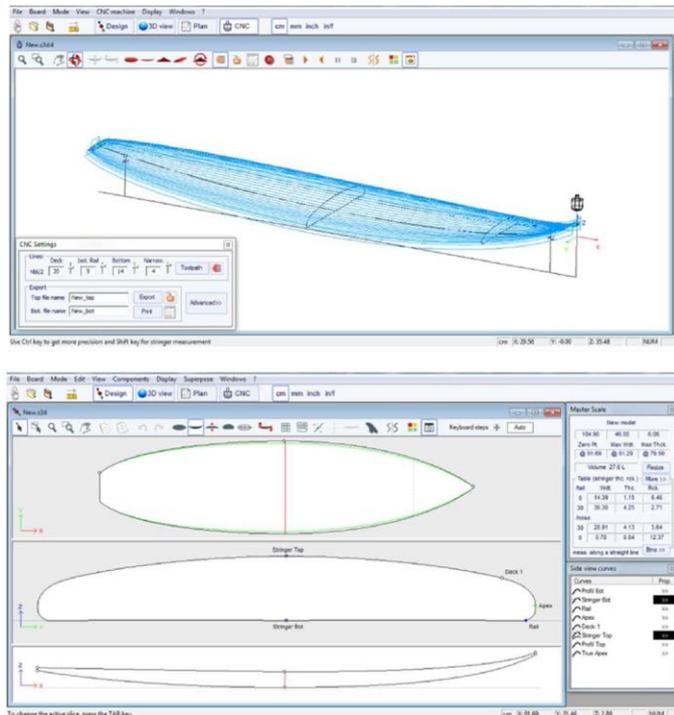


Figura 28. Interfaz del software “Shape 3D”

3. *Realizar pedido de material.* Una vez que se tiene el diseño del Shape, se envía por correo a una empresa que cuenta con una máquina de corte CNC, especializada en tablas de surf. Este es el único proceso que se subcontrata fuera de Grandppa, debido al elevado coste de estas máquinas (en torno a cuarenta mil euros), y la falta de espacio. En cambio, el coste del corte de una tabla está entre 30 € y 50 € en función de su tamaño. Este proveedor corta la tabla según el diseño enviado y hace llegar el *foam* que, posteriormente, será procesado en el taller.
4. *Fabricar tabla.* El proceso de fabricación en el que se lleva a cabo la elaboración del producto se verá con mayor grado de detalle en el siguiente apartado. Este será el proceso objeto de análisis del presente documento.
5. *Entrega y venta del producto final.* Cuando la tabla está acabada, el cliente final elige la forma en la que el taller se la hace llegar. O bien es él mismo el que acude a recogerla, o el taller se la hace llegar mediante una empresa de paquetería, asumiendo el propio cliente los costes del envío. El alcance de los trabajos a realizar finaliza una vez que la tabla llega a las manos del cliente, sin haber ningún servicio post venta.

4.3 Proceso de fabricación

Aquí se describe el proceso completo que realizan los trabajadores del taller para la fabricación de las tablas y que, en los próximos capítulos, analizaremos en las herramientas citadas con anterioridad.

Según la necesidad del cliente, la empresa fabrica principalmente tres tipos de tablas: *shortboards*, *alternative boards* y *longboards*. Estos productos presentan notables diferencias entre sí a la hora de su fabricación. Esta clasificación de tablas se hace según la forma y dimensiones de las mismas, como se muestra en la Figura 29.

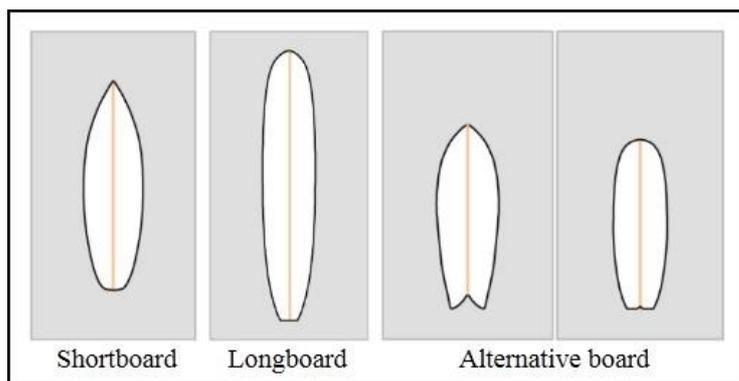


Figura 29. Clasificación de tablas de surf según su forma

Las tablas *Alternative* pueden variar su forma según la demanda del cliente, aunque las más habituales son las que aprecian en la Figura 29 (de izquierda a derecha, *Retrofish* y *Egg*).

También podemos hacer una distinción que alterará el proceso productivo, según el tipo de acabado las tablas podrán ser con acabado mate o brillante tal y como puede observarse en la Figura 30.



Figura 30. Clasificación de tablas según tipo de acabado

Con ambos acabados la tabla podría tener color, añadiéndole pigmento a la resina, o incolora, laminando con la resina sin tintar. Con el objetivo de simplificar el modelo, supondremos que todas las tablas que se fabriquen con acabado mate no llevarán pigmento, mientras que los productos obtenidos con acabado brillo serán de algún color.

Antes de continuar con la descripción de las actividades que componen el proceso de fabricación, es necesario presentar los materiales a usar en dicho proceso:

- *Foam*. El *foam* es la materia prima que constituye el alma de las tablas de surf. Es una espuma de Poliuretano con una lámina de madera que recorre el centro longitudinalmente para aumentar la rigidez de la tabla.

- Fibra de vidrio. Es el material de refuerzo, y junto a la resina, cubre el *foam*. Es un tejido de hilos de fibra de vidrio con un tramado que entrelaza los hilos verticales con los horizontales. En algunos casos, va torsionado sobre sí mismo para aportar mayor rigidez.
- Cinta adhesiva de enmascarar carrocería. Se utiliza para proteger la parte de la tabla que no ha de ser laminada.
- La resina. Es un material transparente y gelatinoso que, en reacción con el catalizador, se endurece. Se pueden utilizar dos tipos de resina: resina epoxi y resina de poliéster. Por motivos económicos, lo más habitual es utilizar resina de poliéster.
- Catalizador. Este líquido permite que la resina endurezca, siendo la temperatura ambiente un factor influyente. Se mezcla con la resina poliéster en un porcentaje entre un 1% (a 24 °C) y un 3% (a 16 °C).
- Estireno parafinado. La adición de estireno parafinado a la resina permite fluidificar ésta para mejor alisadura y facilitar el lijado gracias a la formación de una capa de parafina en superficie, evitando que se enmugrezca el papel abrasivo.
- Tapón del invento y cajetines para quillas. Estos componentes se compran ya fabricados en tiendas de surf especializadas. Los cajetines en los que van encajados posteriormente las quillas permiten que éstas sean desmontables e intercambiables. En el caso del tapón del invento, es un pequeño tapón de plástico con una barra metálica en su diámetro que permite fijar el invento a la tabla. El invento es un elemento de seguridad que mantiene la tabla unida al surfista.

Además de esto, es necesario especificar las herramientas que intervienen en el proceso:

- Tacos de lija de diferente gramaje y acabados.
- Lápiz y cartabón.
- *Squeegee*. Es una paleta de plástico semirrígida en forma rectangular que ayuda a extender la resina de poliéster.
- Cuchilla o cúter.
- Fresadora.
- Lijadora orbital. Se utiliza con platos de lija para las actividades en las que es necesario eliminar imperfecciones de la superficie. Además, si se utiliza una boina de pulido, podrá ser usada para darle un acabado brillante a la resina.
- Caballetes. Las tablas deben estar apoyadas en un soporte que no dañe el material y permita trabajar fácilmente sobre las mismas. Normalmente se utilizan unos caballetes con dos soportes en forma de “U”, con una protección para evitar deformaciones en el *foam*, y colocados aproximadamente a la altura de la cintura. Hay tres caballetes disponibles en el lugar de trabajo, por lo que esto afectará a la capacidad de producción.

Como se ha comentado con anterioridad, según el tipo de tabla, el proceso puede variar ligeramente. Para simplificar el modelado del caso práctico partimos de la suposición de que, dentro de cada tipo de tabla, según su forma, no habrá posibles variaciones, y sólo distinguiremos diferencia en el proceso productivo según el tipo de acabado de la tabla. Por consiguiente, se obtendrán dos posibles productos finales:

- Tabla acabado mate. Independientemente de su forma, es fabricada utilizando resina translúcida, sin colores y con acabado mate.
- Tabla acabado brillo. En este caso la resina usada en el proceso estará tintada con pigmento y tiene un acabado brillante.

A continuación, se describe el proceso de fabricación que podemos separar en dieciséis actividades:

1. *Shapear el foam*. La primera etapa del proceso productivo es “*shapear*” el *foam*, es decir, darle forma al material. Una vez recibido el *foam* ya cortado, es acabado a mano con dos tacos de lija de diferente gramaje. Primero se empleará uno más grueso de gramaje 80, y posteriormente, para proporcionar un mejor acabado, se lijará con uno más fino de 120. En la Figura 31 se observa el *foam* de una tabla ya *shapeado*, listo para continuar con el proceso. En la Figura 31 se puede apreciar el caballete del que

disponen para las actividades en las que interviene un proceso de lijado, así como la Figura 33 muestra los caballetes que utilizan para el resto de actividades. Se utilizan caballetes específicos para ambos tipos de actividades ya que la sala de lijado está aislada, evitando que el polvo generado pueda adherirse a tablas que se encuentren secando o a los materiales que se utilicen para laminar.



Figura 31. Tabla tras el *shapeado* del *bottom* y *deck*, respectivamente

Antes de pasar a la siguiente actividad, se marcará con lápiz en la cara inferior de la tabla (*bottom*) la futura ubicación de las quillas y las medidas de la tabla, como se aprecia en la Figura 32.

Las tablas *Shortboard* y *Alternative* suelen llevar de dos a cinco cajetines pequeños. En el caso de que sea un *longboard*, podría llevar un cajetín grande central para una sola quilla, o dos laterales pequeños y uno central de tamaño intermedio. El trazado de una quilla central no presenta dificultad, sin embargo, para marcar las quillas laterales, se debe emplear un cartabón para trazar con exactitud la distancia requerida, tomando como referencia el eje central de la tabla de la tabla, llamado alma. Se ha de tener en consideración que las quillas laterales no son paralelas al alma, sino giradas unos grados hacia el centro.



Figura 32. Marcado de quillas y dimensiones

2. *Enmascarar el deck*. Una vez realizado el *shape*, se procederá al enmascarado de la tabla, es decir, colocar cinta adhesiva por todos los bordes de la misma. La cinta adhesiva de carroceros que se utiliza en esta actividad sirve de guía para cortar regularmente la fibra de vidrio sobrante que se coloca en el laminado. De esta forma los excesos no se quedan pegados sobre el *foam*, ya que al retirar la cinta se eliminan.



Figura 33. Proceso previo a la laminación

Se enmascara la parte contraria a la que va a ser laminada. Por regla general, primero se lamina la parte inferior de la tabla (*bottom*), ya que se enmascara la parte superior de esta, por la que se pisa (*deck*). Cuando se termina de laminar el *deck*, se procede a enmascarar el *bottom*. En la Figura 33 se puede observar en la tabla de la izquierda una capa de fibra de vidrio cubriendo el *bottom*, preparada para ser laminada. El *deck* de esta última ya estaría enmascarado, tal y como se aprecia en la tabla de la derecha. Este primer enmascarado se realiza sobre el propio *foam*.

3. *Laminar el bottom*. En esta etapa, el objetivo es endurecer la tabla. Se coloca una capa de tejido de fibra de vidrio, generalmente de 6 Oz/m² sobre el *bottom*. La fibra de vidrio se extiende a lo largo de la tabla cubriendo toda la superficie desde la punta a la cola, así como los cantos y un trozo de la parte del fondo.

En el caso de ser una tabla incolora, y por consiguiente en nuestro caso práctico con acabado mate, es necesario realizar dos pasos previos. En este tipo de tablas, los logos son colocados en esta instancia, al contrario que las tablas con color que se colocarán en el punto 9. Para ello, la capa de vidrio que se había colocado se enrolla hacia la punta del *foam*, y sobre la superficie del *bottom* se colocan los logos que previamente han sido impresos en papel de arroz. Para que no se muevan durante el laminado, se mezcla resina con catalizador y se aplica sobre los logos. De este modo, el papel se empapa y queda imperceptible, dejando visible el dibujo impreso. Además de esto, en las tablas acabado mate, los cajetines se colocan después del *shapeado*, como se explica en el punto 8. Por esta causa, antes de laminar, se coloca un trozo de fibra de vidrio sobre estos a modo de refuerzo. Después de haber realizado esta última actividad y fijado los logos la fibra enrollada se extiende para continuar con el proceso.

Una vez fijada la fibra de vidrio, se prepara la resina para aplicarla sobre esta última. En un recipiente se deposita la cantidad de resina proporcional a la superficie que hay que cubrir, se mezcla con el catalizador en la proporción adecuada (entre 1% y 3%) y se remueve hasta asegurar que ambos elementos se hayan mezclado por completo. En el caso de que la tabla fuese con acabado brillo, y por lo tanto con color, se le añade pigmento a la resina. En el último supuesto el tiempo de mezclado sería mayor, ya que la mezcla tiene que ser completamente homogénea evitando que queden grumos.

La mezcla obtenida se aplica sobre la fibra de vidrio con un *squeegee* tal y como se observa en la Figura 34. A este proceso se le llama “laminar”. En el proceso de laminación, la fibra de vidrio es recubierta con la mezcla de resina y se pliega la fibra sobrante sobre el *deck* enmascarado. Tras aplicar la resina, se dejará secar unas veinticuatro horas.



Figura 34. Laminado del bottom

4. *Cutlap deck*. Después de esperar el tiempo especificado, se le da la vuelta a la tabla y se corta con una cuchilla la fibra sobrante que se había plegado. Para ello se utilizará la marca de la cinta adhesiva que se colocó en la fase de enmascarado. La Figura 35 muestra la apariencia de una tabla tras haber laminado el *bottom* y retirado la fibra plegada en dicho proceso.



Figura 35. *Cutlap*

5. *Enmascarar el bottom*. Se realiza el mismo procedimiento que el llevado a cabo en el punto 2, con la diferencia de que esta vez se enmascara el *bottom* ya laminado.
6. *Laminar el deck*. Se lamina el *deck* de la misma manera que se hizo el *bottom* (punto 3), aunque en este caso se pondrán dos capas de fibra de vidrio. Como se ha visto antes, el *deck* de la tabla es la parte superior, zona que se pisa cuando se surfea, por lo que, al poner más capas de fibra, o una fibra de vidrio de mayor grosor, conseguiremos darle más dureza a la tabla y así evitar abollarla con el peso. Se suelen poner dos capas de 6 Oz o una capa de 4 Oz y otra de 6 Oz.

Si la tabla es de acabado mate e incolora, es necesario colocar los logos sobre el *deck* antes de laminar, tal y como explicó en el punto 3.

7. *Cutlap bottom*. En este punto se vuelve a eliminar el excedente de fibra después de haber laminado la parte contraria, al igual que se hizo en el punto 4, siguiendo las marcas de la cinta colocada en la fase de enmascarado.

8. *Colocar los cajetines*. Para la instalación de los cajetines se utilizará una fresadora y unas plantillas suministradas por el fabricante de cajetines y quillas.

En el caso de que la tabla fabricada tuviese acabado mate, y por consiguiente no tendría color, esta actividad se realizaría previa a la laminación de la tabla, tras el punto 1. Una vez finalizado el *shapeado*, se colocarían los cajetines y posteriormente se laminaría con normalidad. Es necesario colocar un trozo de fibra extra como refuerzo antes de laminar, como se especifica en el punto 3.

Si la tabla es de resina tintada y acabado brillo, se realiza tras haber laminado la tabla, una vez finalizado el punto 7. El cajetín se introduce en el hueco realizado con la fresadora, siguiendo las marcas realizadas en la primera fase de *shapeado*, y a continuación se pega con resina. Posteriormente se lamina un trozo de fibra encima para su mayor fijación.

Es importante señalar que siempre hay que mezclar la resina con catalizador para que esta catalice, es decir, pueda solidificarse.

9. *Colocar los logos*. Esta actividad, si la tabla es incolora, se hace antes del laminado, tal y como se detalla en el punto 3. Se coloca el logo y se le aplica resina para que quede fijo en el *foam*, impidiendo que descoloque durante el laminado. Después se coloca la fibra de vidrio sobre el *foam* y se lamina con normalidad.

Si la tabla es de resina tintada, se realiza en este punto del proceso. Se recorta el logo, encima se coloca un trozo de fibra de vidrio y se aplica resina. Los logos se imprimen en papel de arroz en una imprenta mediante serigrafía. El papel de arroz, al empaparse con la resina, desaparece y queda transparente, quedando a la vista únicamente el dibujo del logo. Este efecto puede apreciarse en la figura Figura 36.



Figura 36. Logo en una tabla de color tras haber laminado

10. *Hotcoat*. En la siguiente etapa se aplicará una nueva capa de resina, aunque esta vez se extenderá con una brocha. La resina se mezcla con una proporción del 3% de Estireno parafinado y con un 3% de catalizador. Es necesario aplicar la mezcla en ambas caras de la tabla. Antes de catalizar y secar y la resina, se autonivela, desapareciendo la mayoría de las irregularidades del laminado.

La resina cataliza en una hora, aproximadamente. Es el tiempo que hay que esperar tras haber realizado el *hotcoat* en una cara de la tabla para poder aplicar resina en la otra. Sin embargo, es necesario dejar secar durante unas doce horas para poder lijar la superficie.

11. *Lijar hotcoat*. En el caso en el que sea una tabla blanca, de resina translúcida, se lijará con un plato medio, y lijas de gramajes 220 y 320. Después se aplicará una lija gramaje 400 al agua. Tras esto, la tabla estaría acabada.

Si estamos hablando de una tabla en resina tintada, se lijará únicamente con un plato duro y lija de gramaje 80. Este tipo de tablas se someten a un mayor número de actividades que describiremos a continuación.

En ambos casos se lijan las dos caras de la tabla.

12. *Glosscoat*. Este proceso es idéntico al *hotcoat*, se vuelve a aplicar una capa de resina en ambas caras de la tabla, con las mismas proporciones de estireno y catalizador. Las de resina tintada necesitan una capa de engrose extra para obtener el brillo final.

Al igual que en el *hotcoat* como se explica en el punto 10, para que la tabla seque por completo, se deja secar durante doce horas antes de lijar.

13. *Lijar el glosscoat*. Este proceso es parecido al lijado del *hotcoat*, la única diferencia es el gramaje de las lijas a utilizar. La primera lija es de gramaje 220 y con plato duro. Luego se pasará a gramaje 320, plato medio. El resto de lijas será al agua y plato medio, gramajes 400, 600, 800 y, por último, 1000.

14. *Pulir*. Después de las lijas al agua, se dejará secar la tabla. Una vez seca se realiza el proceso de pulido. Se lleva a cabo de manera similar a los lijados con la rotativa, simplemente se cambia el plato de lijado por una boina de pulido (plato recubierto de lana de cordero). En primer lugar, se utilizará una boina con *polish* de corte. A continuación, se cambiará la boina por otra con *polish* de acabado, más fino que el anterior. Una vez finalizada esta etapa, la tabla con acabado brillo quedaría terminada.

En el siguiente capítulo, se procederá al estudio del proceso de fabricación descrito en diferentes herramientas de simulación.

5 CASO PRÁCTICO. BIZAGI MODELER

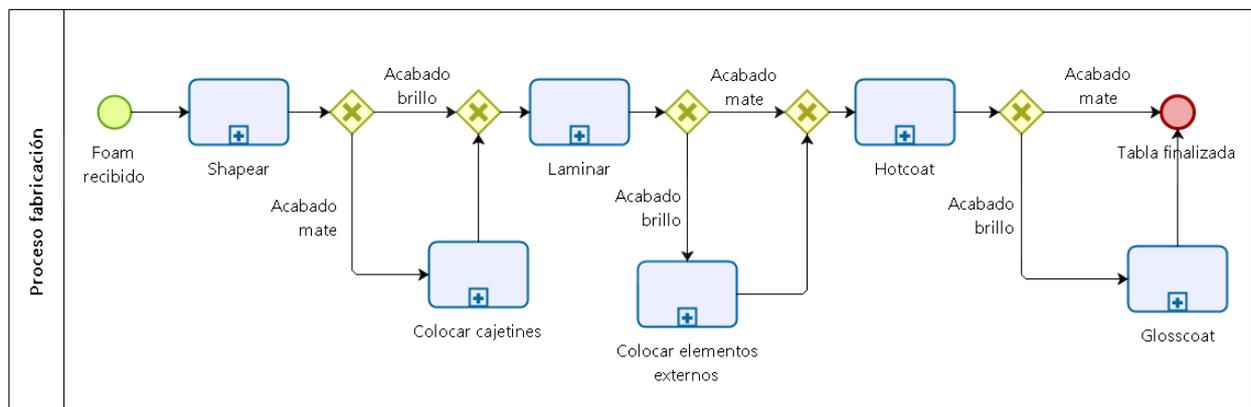
5.1 Modelo estático

El caso práctico que se va a simular y que va a servir como objeto del estudio comparativo es el proceso de fabricación en el que se llevan a cabo las actividades descritas en el punto 4 de este documento.

Como se ha visto en el apartado 4.3 en el que se describe el proceso de producción, para simplificar el caso a simular, a efectos de fabricación se pueden distinguir dos tipos de tablas:

- Tabla con acabado mate y sin color, en la que se usará resina translúcida.
- Tabla con acabado brillo y de color, que será laminada con resina con pigmento.

Para que el modelo con mayor grado de detalle no sea excesivamente extenso, vamos a agrupar las tareas descritas en el punto 4.3 en algunas etapas. En la Figura 37 se muestra el proceso ya modelado con las nuevas actividades agrupadas en subprocesos. Estos últimos, tal como se comentó en el apartado 3.1.1, están compuestos por actividades relacionadas entre sí por un flujo de secuencia.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 37. Modelo estático Bizagi

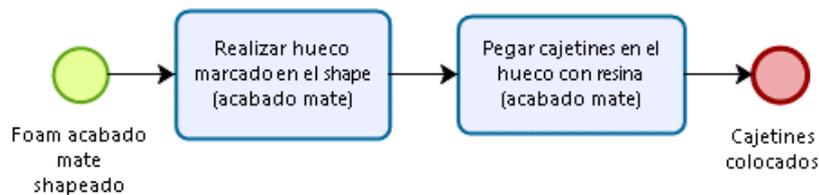
En la Figura 38 se puede observar el conjunto de actividades que componen el subproceso “*Shapear*”. Independientemente del tipo de acabado, el *foam se shapea*, es decir, se le da forma y prepara para el proceso de laminado.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 38. Subproceso modelo estático “*Shapear*”

El proceso en que se colocan los cajetines, únicamente de las tablas cuyo acabo será mate, se muestra en Figura 39. Los cajetines de las tablas con acabado brillo se colocarán posteriormente.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 39. Subproceso modelo estático “Colocar cajetines”

La Figura 40 muestra el diagrama del subproceso con más actividades del modelo. A este último se le ha denominado “Laminar” y es común para todos los tipos de tablas, además de ser crítico para la obtención de un producto de calidad.

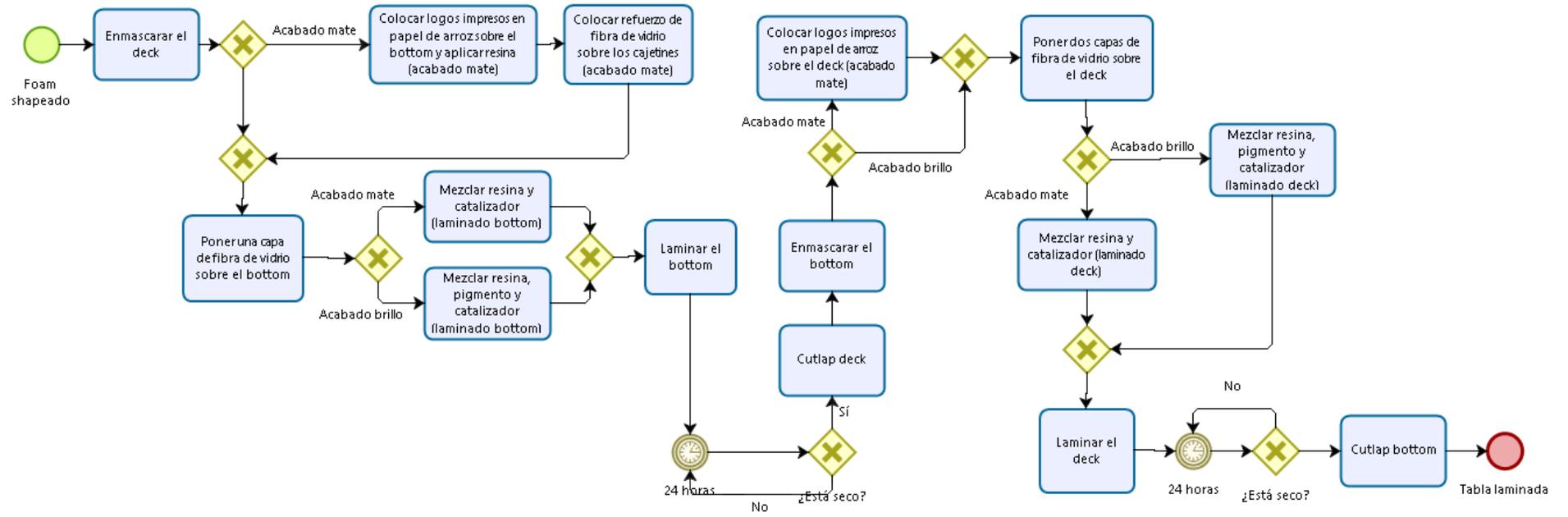
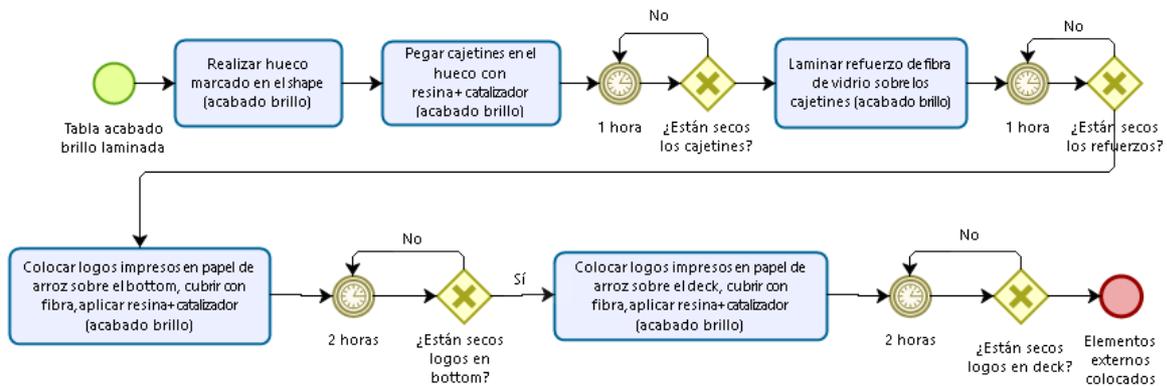


Figura 40. Subproceso modelo estático “Laminar”

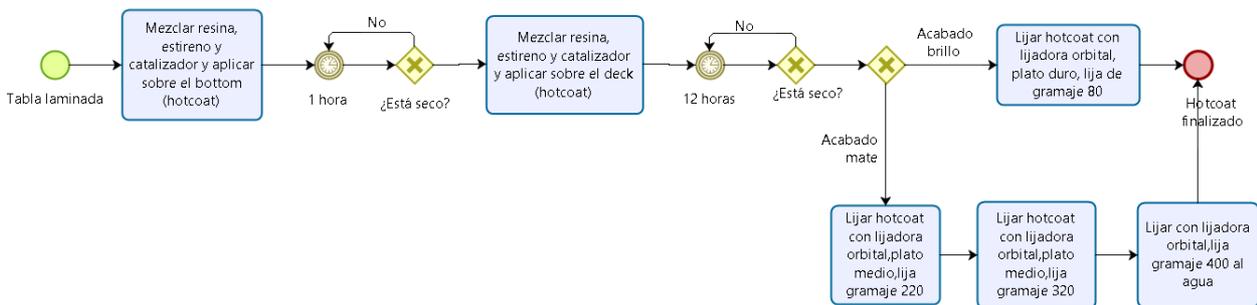
Como se puede apreciar en la Figura 39 y en la Figura 40, en las tablas cuyo acabado es mate, los cajetines y los logos han sido colocados en dichos procesos, respectivamente. En el caso de una tabla con acabado brillo, ambos elementos son incorporados en el subproceso que se muestra en la Figura 41, después de haber laminado.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 41. Subproceso modelo estático “Colocar elementos externos”

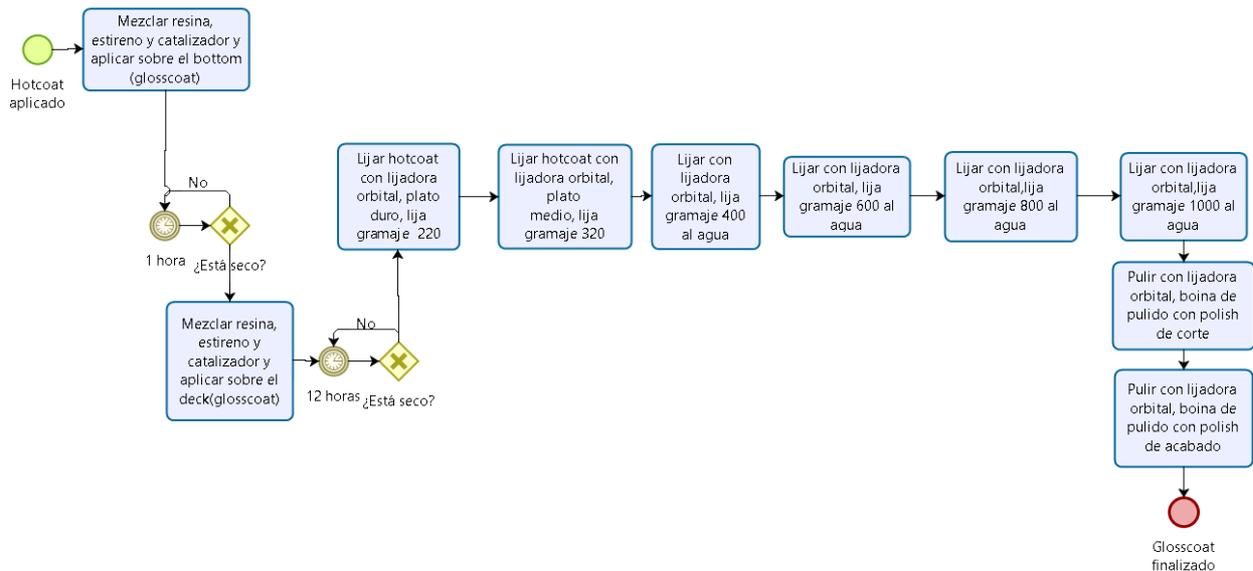
El subproceso al que se le denomina “hotcoat” es otro de los procesos comunes para todas las tablas y se ve desglosado en las actividades que lo componen en la Figura 42. En el caso de ser la fabricación de una tabla acabado mate, serían las últimas actividades que forman parte del proceso productivo de este tipo de tablas.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 42. Subproceso modelo estático “Hotcoat”

La Figura 43 muestra las últimas actividades a las que se someten las tablas acabado brillo.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 43. Subproceso modelo estático “Glosscoat y pulir”

A pesar de haberse construido el diagrama siguiendo las indicaciones recibidas por el taller, el modelo mostrado no es válido para la simulación, aun describiendo el proceso de forma correcta. De hecho, se envió a uno de los encargados del negocio y verificó que el flujo de trabajo estaba bien definido según el diagrama. Este modelo estático únicamente sirve para representar el proceso de fabricación de manera visual y comprender cómo funciona, así como los procesos que tienen en común ambos tipos de acabado. Nos encontramos ante un modelo estático, en el que sus relaciones no dependen del comportamiento del sistema, simplemente analiza su estructura.

A continuación, se procede a explicar porqué no se asemeja al comportamiento real dicho modelo y cómo se actuó para solucionar este problema.

5.2 Modelo dinámico

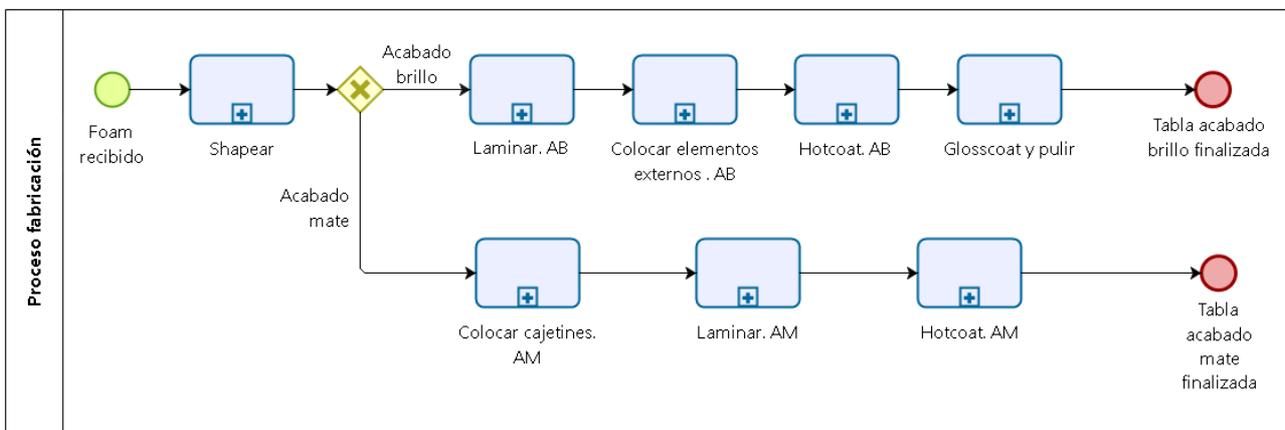
En este supuesto práctico se ha hablado de tres tipos de entidades: *foam*, tabla acabado brillo y tabla acabado mate. El foam es la materia prima que llega al proceso, posteriormente, y en función de las actividades a las que es sometido, se convertirá en una tabla acabado brillo o mate. Para dividir el flujo de las entidades tipo *foam* y poder convertirse en alguna de las entidades que representan los productos finales, se han establecido unos porcentajes que dividen el flujo según el tipo de acabado. En este caso, se fabrica una mayor cantidad de tablas incoloras acabado mate, por lo que el 78% de las unidades que entren en el modelo se someterán a las actividades necesarias para obtener dicho producto. El 22% restante serán tablas que presentan un acabado brillante.

Sin embargo, Bizagi no permite definir varios tipos de entidades, por lo tanto, tampoco dividir el flujo según el tipo de entidad. Es decir, no es capaz de reconocer las entidades que en su momento fueron divididas según los porcentajes indicados y procesadas según el tipo de acabado que tendrá la tabla resultante. Para que el comportamiento del modelo se asemejase a la realidad, el flujo debería dividirse inicialmente siguiendo estos porcentajes, pero, una vez que las entidades hayan sido tratadas según el tipo de acabado, deberían seguir recorriendo el flujo de trabajo en función de esa división. Por lo tanto, para obtener un modelo que se ajuste lo máximo posible a la realidad, es necesario realizar modificaciones en el propio diagrama. De esta manera obtendremos un modelo dinámico, representando la conducta dinámica del sistema. Además, este modelo

evoluciona con el tiempo, por lo que proporciona un comportamiento aún más realista.

Como ya se ha comentado, Bizagi Modeler no permite dividir las entidades según su tipo. Como consecuencia, aunque tengan actividades comunes ambos tipos de tabla, es necesario realizar dos procesos productivos. Tras someterse a la actividad inicial (*Shapear*), las entidades se distribuirán según los porcentajes especificados, para tomar una rama del proceso u otra.

A continuación, se muestra en la Figura 44 el modelo principal propuesto para solventar el problema que presentaba el modelo mostrado anteriormente. Ya que muchas de las actividades, así como los subprocesos que eran comunes, van a ser duplicados, aquellos que pertenezcan a la rama del diagrama para tablas acabado brillo contendrán las letras *AB* al final del nombre descriptivo del módulo. Análogamente, los elementos que formen parte del proceso al que se someterán las tablas acabado mate contendrán en su nombre las letras identificativas *AM*.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 44. Modelo dinámico Bizagi

Como puede apreciarse, se ha colocado un evento de fin en ambas ramas del proceso. De este modo podrán identificarse en el informe de resultados la cantidad de tablas de cada tipo que han sido fabricadas. De otro modo, ya que Bizagi sólo reconoce un tipo de entidad, no sería posible contabilizar las unidades procesadas según el tipo de acabado.

Una vez completado el diagrama que define el proceso, podemos dar comienzo al análisis de cada nivel de simulación.

5.3 Simulación Nivel 1

Como se especificó en el punto 3.1.3.1, en este nivel se introducen los datos referentes a los eventos de inicio y a las compuertas. En el nodo inicial se define el número máximo de llegadas, en este caso concreto son 100. Como se verá posteriormente en el capítulo 6, la licencia académica de Arena Simulation tiene algunas limitaciones. Entre ellas, destaca el número máximo de llegadas, por lo que, con el fin de simular comportamientos del modelo lo más parecidos posibles, se definirá el mismo número de llegadas en ambas herramientas. En el evento de inicio de cada uno de los subprocesos se ha introducido el mismo número que en el evento del proceso principal. Es necesario que al evento final lleguen las mismas entidades que han entrado en el de inicio.

Según el nuevo modelo, se divide el flujo de entidades una única vez. Como ya sabemos, el 78% de las llegadas

se convertirán en tablas acabado mate y el 22%, brillo. Las compuertas exclusivas en Bizagi sólo pueden definirse según un porcentaje, tal y como se muestra en la Figura 45.

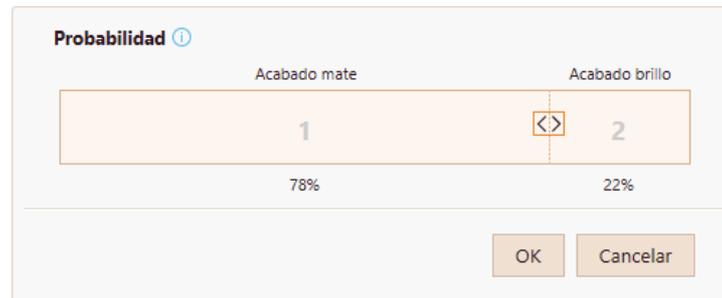


Figura 45. Probabilidad de frecuencia de activación de compuerta

El resto de las compuertas exclusivas que aparecen en los subprocessos son aquellas que se colocan después de un temporizador (que es el que indica un periodo o tiempo de espera en el proceso) y también tiene que ser definida la probabilidad de paso de instancias. En este ejemplo, todos estos elementos representan el tiempo de secado, es decir, el tiempo que necesita la resina para catalizar, en diferentes puntos del proceso. Normalmente, según la experiencia de los trabajadores, los tiempos de espera estimados son correctos, por lo que se establecerá un número mínimo que represente la probabilidad de fallo. Este reproceso únicamente se realiza un 1%, mientras que el 99% de las veces restantes, las instancias continúan avanzando por el flujo definido hacia la siguiente actividad.

Bizagi no obliga a asignar un nombre único para cada elemento. Debido a esto, y sabiendo que todas las compuertas exclusivas que aparecen en los subprocessos representan un reproceso tras una demora, es necesario distinguirlas entre ellas. Por este motivo se nombrarán de forma numérica según el orden en el que aparecen en el diagrama, seguido de la pregunta “¿Está seco?” que representa el tipo de compuerta que se está definiendo; y, por último, el nombre del subprocesso al que pertenece. En la Figura 46 se puede observar cómo se han definido estas compuertas en el subprocesso “Laminar.AB”. De esta manera será fácil identificar cada una de ellas en el informe de resultados, si fuese necesario.

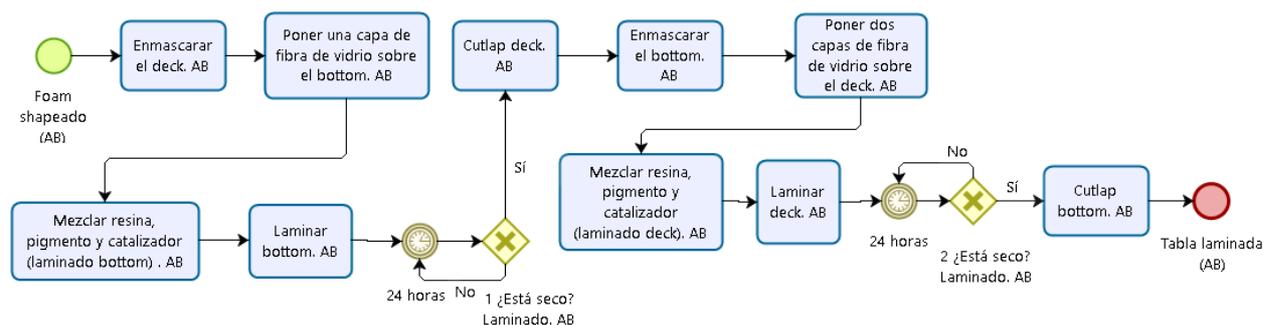


Figura 46. Subproceso modelo dinámico “Laminar. AB”

Antes de ejecutar la simulación, es necesario configurar correctamente el escenario. Este primer escenario que va a ser analizado simulará un año de producción. Es importante definir correctamente las unidades de tiempo que se van a usar, ya que todos los tiempos que registremos en el nivel 2 tendrán que expresarse con la unidad configurada en el cuadro de diálogo que representa la Figura 47. Además, se correrá una única replicación, ya que el objetivo es comprobar el funcionamiento del modelo.

Figura 47. Configuración del escenario en Bizagi “Situación inicial”

Gracias a la simulación del primer nivel podemos comprobar, como se muestra en la Figura 48, que las entidades recorren el flujo pasando por todos los subprocessos, comportándose como era de esperar, ya que la suma de las instancias que llegan a los dos eventos finales son las 100 entidades que entran en el sistema.

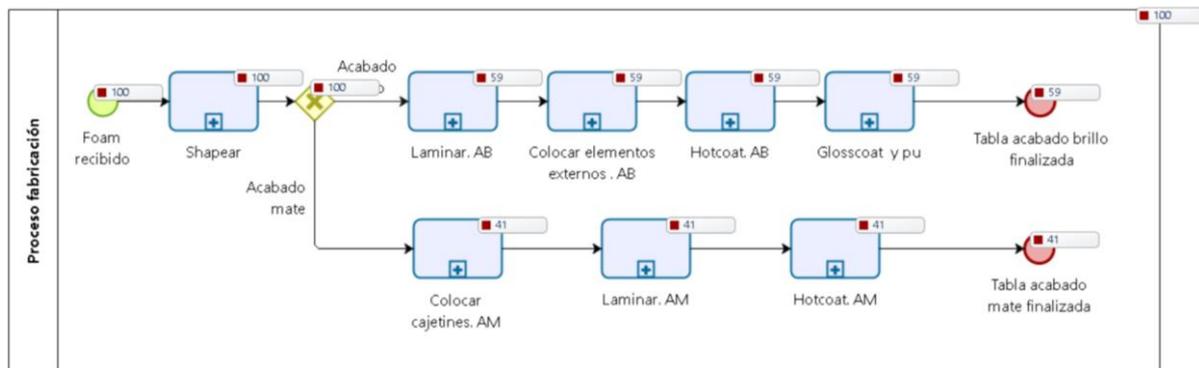


Figura 48. Resumen de simulación Nivel 1

Como se comentó en el apartado 3.1.4, los datos de salida que obtenemos tras la simulación pueden ser exportados a Excel. En la Tabla 1 se puede apreciar la concordancia de resultados entre las instancias completadas y las que aparecen en el diagrama de la Figura 48.

Nombre	Tipo	Instancias completadas
Proceso fabricación	Proceso	100
ExclusiveGateway	Compuerta	100
Foam recibido	Evento de inicio	100
Tabla acabado brillo finalizada	Evento de Fin	59
Tabla acabado mate finalizada	Evento de Fin	41
Shapear	Proceso	100
Colocar cajetines. AM	Proceso	41
Laminar. AB	Proceso	59
Colocar elementos externos . AB	Proceso	59
Hotcoat. AB	Proceso	59
Glosscoat y pulir	Proceso	59
Laminar. AM	Proceso	41
Hotcoat. AM	Proceso	41

Tabla 1. Resultados de simulación Nivel 1: Modelo principal

Además de generar los resultados del proceso principal, se crea una pestaña con los datos de salida de cada uno de los subprocesos que lo componen. Este primer nivel no aporta información relevante, únicamente nos ayuda a ir avanzando en el proceso de simulación gradualmente, permitiendo identificar fallos con mayor facilidad. Cabe destacar que en este nivel hay elementos del diagrama que recibirán un mayor número de instancias de las que han entrado en el sistema. En la Tabla 2 se observa una compuerta (*1 ¿Está seco? Laminado. AB*) y su correspondiente temporizador (evento intermedio) por los que han pasado 60 instancias. Esto quiere decir que, al tratarse de un reproceso, algunas instancias pasarán dos veces por estos elementos. En este caso concreto, se demuestra que de las 100 instancias que han pasado por ese nodo de decisión, en uno de los casos la resina no ha llegado a catalizar en veinticuatro horas, por lo que se ha vuelto a esperar para poder pasar a la siguiente actividad.

Nombre	Tipo	Instancias completadas
Laminar. AB	Proceso	59
Poner dos capas de fibra de vidrio sobre el deck. AB	Tarea	59
2 ¿Está seco? Laminado. AB	Compuerta	59
Enmascarar el bottom. AB	Tarea	59
Poner una capa de fibra de vidrio sobre el bottom. AB	Tarea	59
24 horas	Evento intermedio	60
Enmascarar el deck. AB	Tarea	59
Laminar bottom. AB	Tarea	59
Cutlap bottom. AB	Tarea	59
Mezclar resina. pigmento y catalizador (laminado bottom) . AB	Tarea	59
1 ¿Está seco? Laminado. AB	Compuerta	60
24 horas	Evento intermedio	59
Laminar deck. AB	Tarea	59
Mezclar resina. pigmento y catalizador (laminado deck). AB	Tarea	59
Tabla laminada (AB)	Evento de Fin	59
Foam shapeado (AB)	Evento de inicio	59
Cutlap deck. AB	Tarea	59

Tabla 2. Resultado de simulación Nivel: Subproceso “Laminar. AB”

Después de comprobar la coherencia en los resultados del primer nivel de simulación, podemos concluir que en los datos introducidos hasta el momento no hay errores.

5.4 Simulación Nivel 2

En el Segundo nivel, se introducirán los tiempos de proceso y el intervalo de llegada de los *tokens*, como se ha definido en el apartado 3.1.3.2.

De entre todas las distribuciones posibles, para definir el intervalo de llegadas se va a utilizar la Poisson. Esta distribución de variable discreta suele utilizarse para modelar situaciones en las que el objetivo es conocer el número de hechos de un cierto tipo que se puedan dar en un intervalo de tiempo, bajo presupuestos de aleatoriedad. Si definimos la variable aleatoria X como “número de llegadas de *foams* cortados en un año”, siendo λ el número promedio de tablas procesadas en ese periodo de tiempo:

$$X \sim \text{Poi}(\lambda)$$

Se ha calculado una media de producción de los cuatro años de experiencia del taller, siendo de unas cincuenta tablas al año. Redondeando, la producción sería de una tabla a la semana. Dado que el escenario actual está configurado en horas, los parámetros de las distribuciones tienen que introducirse en la misma unidad de tiempo, por lo que λ será 0,00595. Se ha definido la misma distribución con dicho valor de λ en cada uno de los eventos iniciales, tanto para el proceso principal como para los ocho subprocesos.

Para los tiempos de proceso y los eventos de tiempo vamos a utilizar el complemento de la Poisson: la Exponencial Negativa. Esta distribución se utiliza para determinar el tiempo que transcurre entre eventos que se contabilizan a través de una Poisson. Normalmente se utiliza para definir tiempos de procesamiento o espera. En este caso, la exponencial deriva de un mismo proceso experimental de Poisson, salvo que ahora la variable aleatoria es el tiempo que tarda en producirse el hecho. Definimos la variable con distribución exponencial Y como “tiempo que se tarda en procesar un *token* ó tiempo de espera”, siendo μ el tiempo de proceso ó tiempo de espera medio:

$$Y \sim \text{Exp}(\mu)$$

Todos los tiempos han sido proporcionados por los responsables del taller. Al igual que se han tenido en cuenta las unidades de tiempo en la distribución Poisson que define las llegadas, es necesario introducir los valores del parámetro de cada distribución exponencial en horas. De este modo, cada una de las actividades que contienen los subprocesos seguirán una distribución exponencial negativa, siendo el parámetro de cada una el tiempo de proceso de dicha actividad expresado en horas. De igual manera, se definirán los eventos de tiempo que reflejan los tiempos de espera.

Una vez que todos los tiempos han sido introducidos, podemos ejecutar la simulación para obtener los datos de salida del segundo nivel. La Figura 49 muestra el resumen de la animación tras haber finalizado la simulación. Como se comentó en el punto 3.1.4.2, por cada nivel simulado obtendremos mayor número de datos de salida. En la Figura 49 se puede observar el resumen de simulación. Como podemos apreciar, al haber introducido los tiempos de proceso y espera, además del intervalo de llegadas, las instancias completadas al final de cada rama del proceso varían ligeramente con las del nivel 1 de simulación.

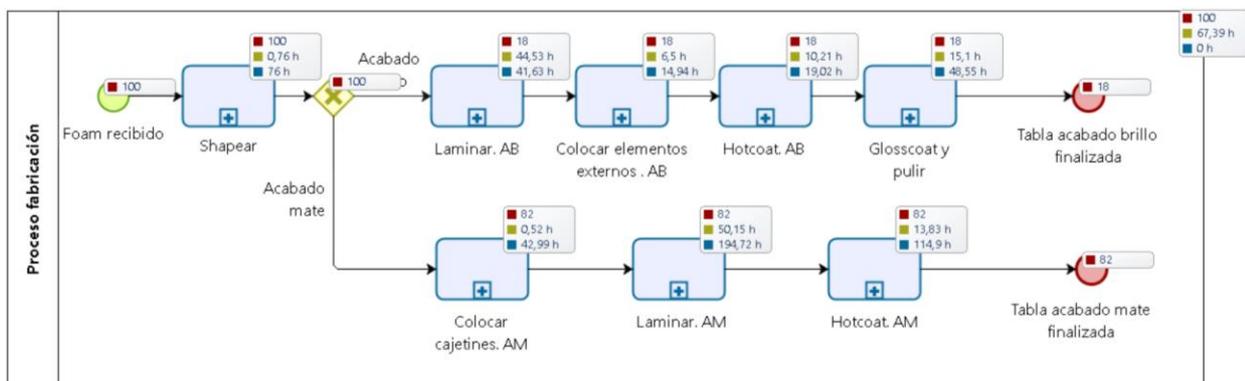


Figura 49. Resumen de simulación Nivel 2

En la Tabla 3 se recogen los resultados del modelo principal. Dicho informe muestra el rendimiento del proceso para unidades generadas en cada caso, consolidando los tiempos mínimos, máximos, medios y totales de proceso. Como ya vimos en el nivel anterior, estos mismos resultados pueden ser obtenidos para cada uno de los subprocesos.

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo (h)	Tiempo máximo (h)	Tiempo promedio (h)	Tiempo total (h)
Proceso fabricación	Proceso	100	100	8,9987	183,0735	67,3931	0
ExclusiveGateway	Compuerta	100	100				
Foam recibido	Evento de inicio	100					
Tabla acabado brillo finalizada	Evento de Fin	18					
Tabla acabado mate finalizada	Evento de Fin	82					
Shapear	Proceso	100	100	0,0112	5,1241	0,7600	75,9973
Colocar cajetines. AM	Proceso	82	82	0,0351	1,7485	0,5243	42,9946
Laminar. AB	Proceso	18	18	3,8444	139,2282	44,5308	41,6346
Colocar elementos externos . AB	Proceso	18	18	0,7992	13,3095	6,4983	14,9425
Hotcoat. AB	Proceso	18	18	1,5807	31,1377	10,2075	19,0221
Glosscoat y pulir	Proceso	18	18	3,5037	31,6680	15,0997	48,5464
Laminar. AM	Proceso	82	82	4,5364	174,3937	50,1505	194,7243
Hotcoat. AM	Proceso	82	82	1,6827	71,9289	13,8283	114,8989

Tabla 3. Resultados de simulación Nivel 2: Modelo principal

Con este nivel podemos tener una idea del tiempo de ciclo esperado para el proceso, en nuestro caso, el tiempo que espera un *foam* desde que comienza a ser procesado hasta que éste se convierte en uno de los productos finales. Analizando los resultados, un *foam* espera, al menos 8,99 horas y, como máximo, 183,08 horas. El tiempo promedio de espera de un *foam* es de 67,39 horas. El tiempo total del proceso no se indica, dado que tenemos dos ramas en nuestro proceso y cada una tiene tiempos distintos.

5.5 Simulación Nivel 3

En el apartado 3.1.3.3 se vio que este tercer nivel se centra en la configuración de recursos. A partir de ahora, la capacidad de los mismos dejará de ser infinita, pudiendo analizar los cuellos de botella que puedan formarse.

Cuando se habla de recursos, también se tienen que valorar en términos económicos. El dinero es un recurso y como tal ha de ser analizado. En el caso práctico que se está evaluando, no se tendrá en cuenta ningún tipo de coste. Esto es debido al hecho de que la maquinaria empleada es propiedad de los trabajadores, así como las herramientas manuales. Los materiales que suministran los proveedores son adquiridos en el proceso de gestión, por lo que en la fabricación del producto no habrá un coste asociado. Por último, con respecto al coste de los propios operarios, al ser los encargados y propietarios del negocio, cobran en función de las ventas, por lo que tampoco se generará ningún coste.

En las herramientas de simulación, únicamente es necesario describir y asociar aquellos recursos que sean críticos para el proceso. Por tanto, es importante tener en cuenta que únicamente hay dos personas disponibles para desarrollar dichas actividades. Con respecto al resto de recursos definidos en el punto 4.3, como mínimo disponen de dos unidades, por lo que al establecer los operarios como críticos no es necesario reflejar esas herramientas en el diagrama.

Sin embargo, hay una de la que disponen de una sola unidad: la lijadora. Además, se explicó en el citado punto que según el plato utilizado también se usa para pulir. Ya que sólo disponen de una unidad, ambos trabajadores podrían usarla simultáneamente. Además, se utiliza en diferentes puntos del proceso por lo que podrían solaparse en el tiempo actividades pertenecientes al proceso de fabricación de distintas tablas en las que se emplee dicha herramienta.

Par finalizar, es necesario definir el número de caballetes disponibles. Estos limitan la capacidad de producción, no pudiendo procesar más de tres tablas al mismo tiempo.

La Figura 50 muestra los recursos disponibles que se han considerado críticos para el proceso. Una vez definidos

y asignados a cada actividad los recursos necesarios para ejecutar cada una de las tareas, así como los tiempos de espera, podemos correr la simulación.

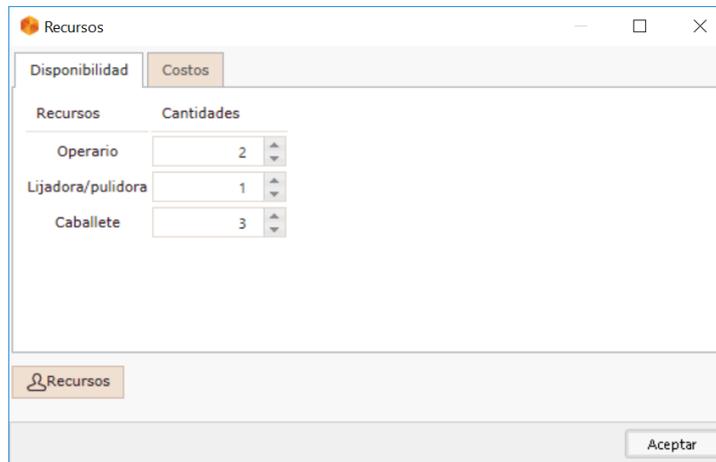


Figura 50. Recursos críticos

Al introducir las restricciones de recursos, el tiempo de ciclo se verá afectado. Además, recordamos que en este nivel también se introduce en cada una de las actividades lo que Bizagi denomina “Tiempo de Espera”. Esto define el tiempo que tarda una entidad en ser procesada una vez que ha sido asignada a dicha actividad, es decir, tiempo de *Set-up*. Asignaremos tiempos de preparación, o *Set-up*, a aquellas actividades que lo requieran, por ejemplo, el cambio del plato de lijado en la lijadora. En ese caso, el recurso estará ocupado preparando la máquina para comenzar a realizar la tarea una vez finalizado el tiempo de espera definido. Estos tiempos también se distribuyen exponencialmente, con una media entre uno y cuatro minutos, dependiendo de la actividad. Hay actividades que no lo requieren o el propio tiempo de proceso lo contempla.

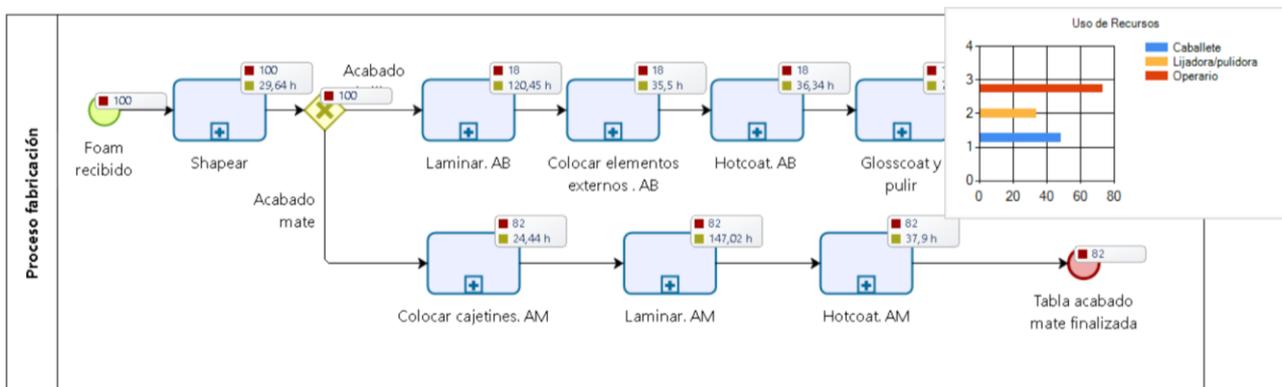


Figura 51. Resumen de simulación Nivel 3

La Figura 51 muestra el resumen de simulación del actual nivel, en el que aparece la gráfica de ocupación de recursos. Como se puede apreciar, el recurso con mayor porcentaje de uso es el operario, no olvidemos que únicamente hay dos trabajadores para todo el proceso; sin embargo, no llega a estar al 100%. Para comprender cómo han afectado la asignación de recursos al modelo, analizaremos los resultados. En este nivel aparecen cuatro datos nuevos reflejados en el informe: tiempo mínimo, máximo y promedio que una actividad espera a un recurso para ser procesada, y su desviación estándar. Recordamos que también devuelve los datos relativos a los costes que, en nuestro caso, no aplica. Como podemos comprobar en la Tabla 4, al introducir las nuevas restricciones el proceso se ha visto seriamente afectado, dado que los tiempos han aumentado altamente con respecto al nivel anterior. Mientras el tiempo promedio de proceso en el nivel 2 era de 67,39 horas, ha ascendido

a 250,11. Los tiempos promedio más elevados se encuentran en los subprocesos de laminado, tanto para acabado brillo como para las tablas mate. Posiblemente los recursos utilizados en estas actividades no son suficientes. También hay que tener en cuenta los tiempos de espera definidos en estos subprocesos, ya que los *timers* representan el tiempo que tarda la resina en catalizar y, en estos dos casos, son de al menos 24 horas.

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo (h)	Tiempo máximo (h)	Tiempo promedio (h)	Tiempo total (h)	Tiempo total esperando recursos (h)
Proceso fabricación	Proceso	100	100	169,8600	387,0167	250,1169	0	0
ExclusiveGateway	Compuerta	100	100					
Foam recibido	Evento de inicio	100						
Tabla acabado brillo finalizada	Evento de Fin	18						
Tabla acabado mate finalizada	Evento de Fin	82						
Shapear	Proceso	100	100	22,2772	34,3718	29,6396	2963,9647	2894,5763
Colocar cajetines. AM	Proceso	82	82	22,2989	26,1701	24,4414	2004,1967	1955,7355
Laminar. AB	Proceso	18	18	90,3520	216,9346	120,4493	1447,5638	1403,9073
Colocar elementos externos . AB	Proceso	18	18	12,2094	56,2162	35,4968	537,7295	520,9204
Hotcoat. AB	Proceso	18	18	24,7577	57,3795	36,3367	490,9442	469,8602
Glosscoat y pulir	Proceso	18	18	20,3255	108,6466	78,8336	1177,1288	1132,8784
Laminar. AM	Proceso	82	82	93,2065	316,6634	147,0228	7866,4571	7655,5580
Hotcoat. AM	Proceso	82	82	7,5604	85,1187	37,8971	2087,0729	1968,0740

Tabla 4. Resultados de simulación Nivel 3: Modelo principal

En el modelo principal no aplican los nuevos datos de salida, dado que no tenemos actividades en este primer nivel y todas se encuentran agrupadas en subprocesos. A modo de ejemplo, se va a analizar uno de ellos. En la Tabla 5 podemos observar los resultados del subproceso que contiene las actividades referidas al laminado de tablas acabado mate. Se puede apreciar que la actividad “Enmascarar el *deck*” está esperando un recurso durante un tiempo promedio de 15,49 horas. Recordamos que todas las actividades requieren siempre dos de los recursos definidos, operario y caballete. Puede que uno de los recursos estuviese libre, pero para poder llevarse a cabo dicha tarea, ambos tienen que estarlo.

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo (h)	Tiempo máximo (h)	Tiempo promedio (h)	Tiempo total (h)	Tiempo mínimo esperando recursos (h)	Tiempo máximo esperando recursos (h)	Tiempo promedio esperando recursos (h)	Desviación estándar esperando recursos (h)	Tiempo total esperando recursos (h)
Laminar. AM	Proceso	82	82	93,2065	316,6634	147,0228	7.866,4571					7.655,5580
Poner dos capas de fibra de vidrio sobre el <i>deck</i> . AM	Tarea	82	82	1,5570	11,1806	6,3245	518,6053	1,4610	11,0880	6,2228	1,6459	510,2731
1 ¿Está seco? Laminar. AM	Compuerta	83	83									
Cutlap bottom. AM	Tarea	82	82	0,0139	11,2167	5,9522	488,0824	-	11,1421	5,6324	3,1106	461,8602
2 ¿Está seco? Laminar. AM	Compuerta	83	83									
24 horas	Evento intermedio	83	83									
Enmascarar el bottom. AM	Tarea	82	82	2,8950	12,1446	6,4168	526,1792	2,8431	10,6411	6,0184	1,4818	493,5089
Colocar logos impresos en papel de arroz sobre el bottom y aplicar resina+catalizador. AM	Tarea	82	82	5,7349	18,9787	12,6732	1.039,2004	5,6644	18,9149	12,5730	3,9683	1.030,9899
24 horas	Evento intermedio	83	83									
Laminar <i>deck</i> . AM	Tarea	82	82	0,3632	11,9417	6,0054	492,4406	0,1677	11,9295	5,7178	1,9243	468,8555
Mezclar resina y catalizador (laminado <i>deck</i>). AM	Tarea	82	82	1,7883	11,5577	5,7853	474,3926	1,7778	11,4613	5,7569	1,6929	472,0674
Cutlap <i>deck</i> . AM	Tarea	82	82	3,5215	11,7024	6,4160	526,1118	3,3971	11,6610	6,1178	1,5938	501,6592
Enmascarar el <i>deck</i> . AM	Tarea	82	82	13,0732	19,7658	15,9026	1.304,0168	12,9736	18,6657	15,4918	1,6873	1.270,3251
Mezclar resina y catalizador (laminado bottom). AM	Tarea	82	82	2,7709	5,1907	3,4478	282,7183	2,7381	5,1392	3,4169	0,4020	280,1858
Colocar refuerzo de fibra de vidrio sobre los cajetines. AM	Tarea	82	82	5,6778	8,5257	7,0433	577,5490	5,6162	8,4272	6,8703	0,6921	563,3662
Laminar bottom. AM	Tarea	82	82	2,9673	10,9398	7,4276	609,0611	2,7194	10,6794	7,1764	2,4630	588,4632
Colocar logos impresos en papel de arroz sobre el <i>deck</i> y aplicar resina+catalizador. AM	Tarea	82	82	2,2209	11,6833	6,2078	509,0390	2,1322	11,5732	6,1145	1,6534	501,3884
Foam shapeado	Evento de inicio	82										
Tabla laminada	Evento de Fin	82										
Poner una capa de fibra de vidrio sobre el bottom. AM	Tarea	82	82	3,9013	8,4508	6,3300	519,0608	3,8715	8,3713	6,2514	1,3142	512,6151

Tabla 5. Resultados de simulación Nivel 3: Subproceso “Laminar.AM”

Estas interpretaciones son referidas al proceso. Si analizamos los resultados a nivel de recursos, podemos advertir en la Tabla 6 que la ocupación de los recursos no es demasiado elevada. Debemos deducir entonces que, los tiempos tan elevados que hemos obtenido, son consecuencia de los continuos momentos espera de los trabajadores para seguir procesando una tabla cuando esté seca.

Recurso	Uso
Operario	73,10%
Lijadora/pulidora	33,89%
Caballete	48,74%

Tabla 6. Resultados de simulación Nivel 3: Recursos

5.6 Simulación Nivel 4

Tras haber definido los recursos, tenemos que hacer que el modelo se ajuste lo máximo posible a la realidad. En la vida real, los procesos no disponen de los recursos de manera voluntaria, sino que estos están sujetos a horarios de trabajo, días festivos o fines de semana. Reflejando la disponibilidad de recursos en el tiempo, obtendremos una mejor aproximación al rendimiento del proceso real. En la Figura 52 se muestra el calendario que se ha establecido. Normalmente, los operarios trabajan una media de cuatro horas diarias durante el turno de tarde, ya que es su segunda actividad laboral.

Figura 52. Cuadro de diálogo para definición de calendarios

Una vez que ha sido definido el calendario, se asigna a cada uno de los recursos y el modelo está listo para ser simulado. Puesto que todos los datos han sido contemplados en el modelo y correcta interpretación de los resultados de este último nivel es de vital importancia, vamos a simular más replicaciones. De este modo el sistema se estabilizará y los datos obtenidos serán más fiables. Bizagi recomienda realizar al menos treinta replicaciones por lo que, para no demorar la simulación, será el número asignado.

Con el objetivo de analizar este último nivel, en la Tabla 7 se presentan los resultados del subproceso “Laminar.AM”, tras introducir la última restricción de calendarios. Hay actividades que han incrementado su tiempo esperando recursos. Sin embargo, los resultados no son alarmantes, teniendo en cuenta que los tiempos de espera presentan una magnitud mayor a los propios tiempos de proceso.

Los resultados obtenidos acerca de los recursos determinarán si hay problemas de capacidad críticos. En los resultados mostrados en la Tabla 8 comprobamos que no existe ningún tipo de conflicto, por lo que podemos deducir que las asignaciones realizadas son correctas y el modelo funciona de manera coherente.

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo (h)	Tiempo máximo (h)	Tiempo promedio (h)	Tiempo total (h)	Tiempo mínimo esperando recursos (h)	Tiempo máximo esperando recursos (h)	Tiempo promedio esperando recursos (h)	Desviación estandar esperando recursos (h)	Tiempo total esperando recursos (h)
Laminar. AM	Proceso	76	76	85,6214	306,3921	140,8850	6744,6077					6552,7006
Poner dos capas de fibra de vidrio sobre el deck. AM	Tarea	76	76	0,1030	11,1922	5,2965	402,5327	0,0000	11,1597	5,1986	1,9037	395,0911
24 horas	Evento intermedio	76	76									
Mezclar resina y catalizador (laminado deck). AM	Tarea	76	76	0,0008	10,2075	5,5564	422,2896	0,0000	10,1461	5,5272	1,7147	420,0652
Cutlap bottom. AM	Tarea	76	76	0,0147	10,8810	5,8334	443,3414	0,0000	10,6808	5,5289	2,8092	420,1955
Enmascarar el bottom. AM	Tarea	76	76	0,2955	11,4157	5,0148	381,1257	0,0000	11,1981	4,6578	1,9451	353,9945
1 ¿Está seco? Laminar. AM	Compuerta	80	80									
24 horas	Evento intermedio	80	80									
2 ¿Está seco? Laminar. AM	Compuerta	76	76									
Laminar deck. AM	Tarea	76	76	0,2579	11,0794	5,8746	446,4712	0,0000	10,7480	5,5815	1,8490	424,1964
Colocar logos impresos en papel de arroz sobre el bottom y aplicar resina+catalizador. AM	Tarea	76	76	4,5565	17,3707	10,6820	811,8306	4,5047	17,3054	10,5898	4,0244	804,8252
Cutlap deck. AM	Tarea	76	76	0,0331	11,0167	5,1492	391,3373	0,0000	10,8755	4,8453	1,9094	368,2426
Foam shapeado	Evento de inicio	76										
Enmascarar el deck. AM	Tarea	76	76	13,6664	17,9210	15,7974	1200,6043	13,4648	17,3161	15,3904	1,1004	1169,6689
Mezclar resina y catalizador (laminado bottom). AM	Tarea	76	76	2,3245	6,6291	3,9950	303,6220	2,2528	6,6109	3,9645	1,1212	301,3011
Poner una capa de fibra de vidrio sobre el bottom. AM	Tarea	76	76	5,1944	8,3819	7,3146	555,9119	5,0934	8,2598	7,2230	0,7067	548,9464
Laminar bottom. AM	Tarea	76	76	2,2313	11,4334	7,2050	547,5794	2,1776	11,2033	6,9409	2,8505	527,5112
Tabla laminada	Evento de Fin	76										
Colocar refuerzo de fibra de vidrio sobre los cajetines. AM	Tarea	76	76	4,4004	8,3417	6,1246	465,4687	4,3703	8,2533	5,9699	1,1181	453,7107
Colocar logos impresos en papel de arroz sobre el deck y aplicar resina+catalizador. AM	Tarea	76	76	0,0691	11,2182	4,9012	372,4929	0,0000	11,1309	4,8020	1,8508	364,9518

Tabla 7. Resultados de simulación Nivel 4: Subproceso “Laminar.AM”

Recurso	Uso
Operario	3,27%
Lijadora/pulidora	1,65%
Caballote	2,18%

Tabla 8. Resultados de simulación Nivel 4: Recursos

5.7 Análisis *What-If*

Con objeto de ver cómo funciona esta función y, si gracias a su comparativa podemos mejorar el proceso, vamos a llevar a cabo un análisis *What-If*. En este último modificaremos algunas de las condiciones iniciales simuladas en los niveles anteriores y así podremos realizar una comparativa de los resultados obtenidos.

Para ello, vamos a modificar dos de los datos introducidos en un inicio. En primer lugar, dado que es un proceso con muchas actividades, vamos a suponer que disponemos de más recursos. En este caso se van a aumentar dos unidades del recurso “Operario” y una del recurso “Caballote”, por lo que el proceso dispondrá de un total de cuatro operarios y cuatro caballotes para ser completado.

Al duplicar el escenario actual y asignar los nuevos recursos, realizamos el análisis con las dos situaciones. Una vez pulsada la opción Análisis *What-If*, se seleccionan ambos escenarios antes de su ejecución. Bizagi recomienda efectuar treinta replicaciones para que el sistema se estabilice, aunque ralentiza mucho el manejo de reportes. Sin embargo, al llevar a cabo el análisis con una única replicación los resultados obtenidos no eran coherentes. Al exportar los resultados a Excel se han podido ocultar las replicaciones que el sistema ha requerido para estabilizarse y mostrar resultados fiables, por lo que únicamente se analizarán los datos obtenidos de la trigésima replicación. La Tabla 9 muestra la comparativa de porcentajes de uso de recursos. Al haber aumentado el número de operarios y caballotes, ha disminuido su ocupación. Sin embargo, previo a la modificación, ya se apreciaba una utilización bastante baja. A modo de ejemplo, volvamos a utilizar los datos generados para el subproceso en el que se laminan la tablas acabado mate. En la Tabla 9 sólo aparecen parte de los resultados debido a la extensión de la tabla. En primer lugar, podemos observar que la producción ha aumentado, ya que inicialmente eran producidas 71 tablas acabado mate mientras que con la nueva asignación de recursos se fabrican 78 unidades. Sin embargo, los tiempos promedio no difieren en exceso entre ellos, lo que significa que el proceso, aun teniendo más recursos, requiere un tiempo. Al tratarse de la producción artesanal de tablas, le ejecución de las tareas lleva su tiempo. Además, no debemos olvidar la magnitud de los tiempos de espera, que llegan a ser hasta de un día completo.

Recurso	Escenario	Uso
Operario	Situación Inicial - Replicación 30	3,39%
Operario	What if - Situación Inicial - Replicación 30	2,00%
Lijadora/pulidora	Situación Inicial - Replicación 30	1,66%
Lijadora/pulidora	What if - Situación Inicial - Replicación 30	1,77%
Caballote	Situación Inicial - Replicación 30	2,26%
Caballote	What if - Situación Inicial - Replicación 30	2,00%

Tabla 9. Resultados de simulación Análisis What If: Recursos

Nombre	Escenario	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo (h)	Tiempo máximo (h)	Tiempo promedio (h)	Tiempo total (h)	Tiempo mínimo esperando recursos (h)	Tiempo máximo esperando recursos (h)	Tiempo promedio esperando recursos (h)	Desviación estandar esperando recursos (h)	Tiempo total esperando recursos (h)
Laminar. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Proceso	71	71	1,7388	4,0328	2,3638	120,1083					117,1205
Laminar. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Proceso	78	78	0,9800	3,1499	1,5232	66,6115					62,5100
Poner dos capas de fibra de vidrio sobre el deck. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0773	0,1694	0,1248	8,8603	0,0769	0,1692	0,1231	0,0197	8,7432
Poner dos capas de fibra de vidrio sobre el deck. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0001	0,1170	0,0477	3,7168	0,0000	0,1157	0,0460	0,0219	3,5891
1 ¿Está seco? Laminar. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Compuerta	71	71									
1 ¿Está seco? Laminar. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Compuerta	78	78									
2 ¿Está seco? Laminar. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Compuerta	72	72									
2 ¿Está seco? Laminar. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Compuerta	79	79									
24 horas	Situación Inicial - Replicación 30	Evento intermedio	71	71									
24 horas	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Evento intermedio	78	78									
24 horas	Situación Inicial - Replicación 30	Evento intermedio	72	72									
24 horas	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Evento intermedio	79	79									
Enmascarar el bottom. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0637	0,1833	0,1344	9,5453	0,0582	0,1742	0,1272	0,0284	9,3002
Enmascarar el bottom. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0029	0,1190	0,0580	4,5239	0,0000	0,1093	0,0487	0,0236	3,8008
Mezclar resina y catalizador (laminado deck). AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0698	0,1590	0,1149	8,1613	0,0678	0,1589	0,1144	0,0185	8,1244
Mezclar resina y catalizador (laminado deck). AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0001	0,1135	0,0425	3,3121	0,0000	0,1132	0,0420	0,0236	3,2722
Colocar logos impresos en papel de arroz sobre el bottom y aplicar resina+catalizador. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0696	0,2457	0,1635	11,6067	0,0668	0,2433	0,1618	0,0536	11,4876
Colocar logos impresos en papel de arroz sobre el bottom y aplicar resina+catalizador. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0355	0,2121	0,1536	11,9795	0,0337	0,2112	0,1519	0,0595	11,8461
Laminar deck. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0379	0,1655	0,1166	8,2762	0,0354	0,1551	0,1119	0,0225	7,9462
Laminar deck. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0034	0,1420	0,0540	4,2096	0,0000	0,1261	0,0462	0,0286	3,6039
Cutlap bottom. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0013	0,1717	0,1260	8,9428	0,0000	0,1681	0,1208	0,0350	8,5739
Cutlap bottom. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0008	0,1380	0,0502	3,9138	0,0000	0,1234	0,0452	0,0349	3,5259
Cutlap deck. AM	Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	71	71	0,0569	0,1873	0,1223	8,6808	0,0516	0,1781	0,1169	0,0369	8,2991
Cutlap deck. AM	What if - Situación Inicial - Replicación 30	Tarea	78	78	0,0007	0,1310	0,0656	5,1157	0,0000	0,1228	0,0593	0,0264	4,6255

Tabla 10. Resultados de simulación Análisis What If: Subproceso “Laminar.AM”

6 CASO PRÁCTICO. ARENA SIMULATION

6.1 Modelo

En este capítulo se va a construir en el software Arena Simulation el proceso que ya ha sido modelado con anterioridad.

Como se pudo apreciar en el punto 3.2, Arena presenta claras diferencias con respecto a Bizagi. Una de ellas es la introducción de datos simultáneamente a la construcción del modelo. Por este motivo, se describirán los aspectos que han sido relevantes a la hora de representar el proceso en Arena. Posteriormente, se efectuará el análisis de los resultados obtenidos.

En la Figura 53 se refleja el modelo principal del proceso que, salvando las diferencias de cada herramienta, es muy similar al modelo estático que se representó en Bizagi, Figura 37. Podemos apreciar mayor número de módulos, sin embargo, no representan nuevas actividades, sino que permiten al modelo tener un comportamiento más cercano a la realidad. Comentaremos estos bloques, así como la función que tienen en el modelo, a continuación.

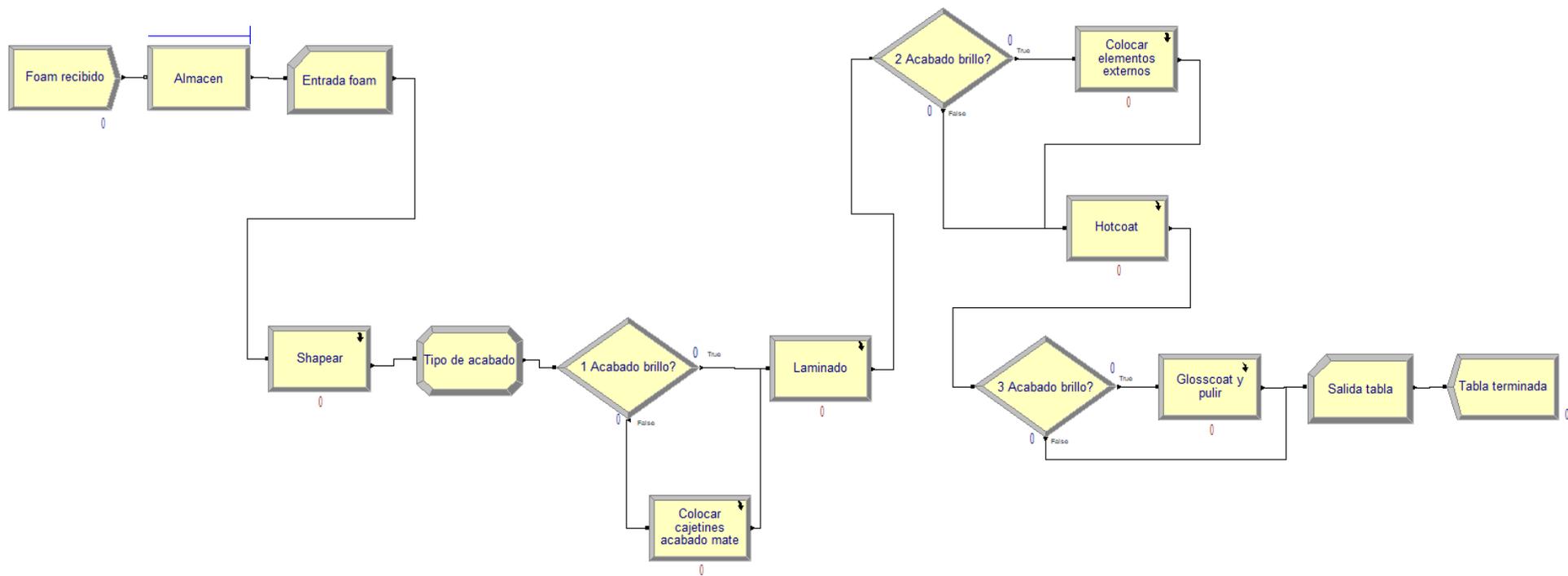


Figura 53. Modelo principal en Arena

En primer lugar, se define la llegada de entidades al sistema. Para ello se utiliza el módulo *Create*, que, en nuestro caso, regula la entrada de *foams*. Este intervalo de llegadas está definido por una Poisson, siendo el parámetro el número de entidades que llegan a la hora (0.005952), tal y como vimos en el punto 5.4. Si el proceso sufriese una demora, o bien por retardos, o por la no disponibilidad de recursos, sería necesario hacer esperar a las entidades que han llegado y no pueden ser procesadas. Para reflejar esto se ha creado un módulo *Hold* que actúa como almacén. Como vimos en el capítulo 4, la capacidad de producción estaba restringida a tres tablas, ya que sólo se disponen de tres caballetes en el taller. Debido a ello, para regular este comportamiento en el modelo, se han introducido dos contadores mediante módulos *Record*, uno al inicio del proceso y otro al final. Esos módulos controlan las entradas y salidas de entidades, aumentando en uno cada vez que un *token* pasa a través de él. En la Figura 54 se observa la configuración que se le ha dado al módulo *Hold* utilizando variables del sistema que indican el estado de cada uno de los contadores. El funcionamiento de este módulo es retener en una cola a las entidades que entran, liberándolas cuando la diferencia de entradas y salidas de entidades sea inferior a tres.

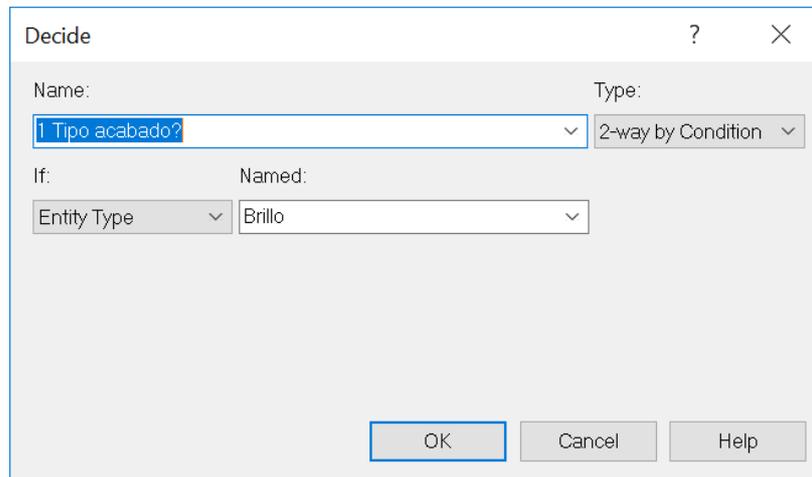
Figura 54. Cuadro de diálogo del módulo *Hold*

Utilizando este módulo, no es necesario introducir los caballetes como recursos, representando de forma más real el comportamiento del proceso. De este modo, siempre que haya un caballete libre porque una tabla haya sido procesada y salga de sistema, otro *foam* pueda salir del almacén. Sin embargo, llega un momento del proceso en el que esta materia prima se transforma en los dos tipos de tabla: acabado brillo y acabado mate. Por este motivo, es necesario definir dos nuevos atributos a esta entidad original. El atributo *Entity.Type* resulta de gran utilidad cuando queremos diferencias varios tipos de entidades. En la Figura 55 se puede observar la configuración del módulo *Assign* que se ha utilizado para crear estas dos nuevas entidades a partir de la entidad tipo *Foam* inicial. Al elegir *Entity.Type*, estamos indicando que el atributo que va a ser modificado según el valor definido va a ser la entidad.

Figura 55. Cuadro de diálogo del módulo *Assign*

La expresión utilizada para definir el nuevo valor de esta entidad representa la asignación del valor “Brillo” al 22% de las entidades que entran, así como el resto tomarán el valor “Mate”. Estas entidades tienen que ser definidas en el módulo de datos *Entity* para que el modelo pueda reconocerlas.

Al haber diferenciado entre los dos nuevos tipos de entidades, podemos dividir el flujo en función del tipo de entidad. En la Figura 56 observamos que al elegir *2-way by Condition* como el tipo de decisión a tomar, podemos elegir dividir según el tipo de entidad. En este caso, las entidades definidas como “Brillo” cumplen la condición definida, por lo que tomarán la rama *True* del bloque.



The image shows a dialog box titled "Decide" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields and controls:

- Name:** A text input field containing "1 Tipo acabado?".
- Type:** A dropdown menu currently showing "2-way by Condition".
- If:** A dropdown menu currently showing "Entity Type".
- Named:** A text input field containing "Brillo".
- At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Figura 56. Configuración módulo *Decide* según condición

Cuando solamente han sido definidos dos posibles valores del atributo, se entiende que las entidades que no cumplan la condición tomarán la otra rama (*False*) de módulo. Al haber diferenciado las entidades de cada tipo en cada módulo de decisión, se ha podido utilizar una sola rama para definir el proceso de fabricación. Además, aunque sólo haya una salida, en las estadísticas aparecerán reflejados los tres tipos de entidades definidos. El resto de módulos *Decide* que aparecen en los subprocesos se encuentran tras un *Delay*. Como ya vimos en el punto 3.2.3, este último representa una demora en el proceso, por lo que estos bloques están configurados con los tiempos de espera correspondientes al secado de la resina. En este caso, el *Decide* que acompaña a este módulo representa un reproceso, si está seco, la entidad avanza, si no, vuelve a esperar. Esta vez se basa en unos porcentajes y no en una condición. Estos porcentajes fueron definidos en el apartado 5.3 del capítulo anterior.

Por último, es importante comentar la función del módulo *Process*. Ya sabemos que este bloque representa una actividad, en la que una entidad entra para ser procesada y, tras un determinado tiempo, sale. Pero a la hora de definir los recursos, es importante configurar correctamente estos módulos. No debemos pasar por alto que sólo se dispone de dos operarios, y son recursos necesarios para desarrollar todas las actividades del proceso. En la Figura 57 podemos reconocer el subproceso compuesto por los módulos que definen el último proceso al que se someten las tablas acabado brillo. Tal y como se puede apreciar, la primera actividad se encuentra justo antes de una demora en el proceso. Esto quiere decir, que para procesar una entidad se necesita captar un recurso, realizar la actividad durante el tiempo establecido y, puesto que ese recurso no será requerido de nuevo hasta después de una hora, liberar al operario. Si observamos la Figura 58, podemos ver que la acción que desempeña la actividad nombrada define esta idea (*Seize Delay Release*). Sin embargo, si nos fijamos en la segunda parte del subproceso, aparecen cinco actividades consecutivas. Para que el operario que comience con la primera actividad, una vez finalizada, no acuda a otro punto del proceso, es necesario especificar que el recurso no sea liberado hasta que se le indique. El primero de estos cinco últimos módulos tendrá una configuración *Seize Delay*, ya que, tras la demora anterior, es necesario que el operario sea captado. Las tres actividades intermedias únicamente sufrirán una demora (*Delay*), puesto que el recurso sigue ocupado en esta parte del proceso. Finalmente, la actividad que cierra el subproceso tendrá una acción *Delay Release*, la entidad será procesada durante el tiempo establecido y, una vez concluido, el recurso es liberado. Gracias a esta configuración del módulo *Process* obtenemos un comportamiento del modelo muy próximo a la realidad.

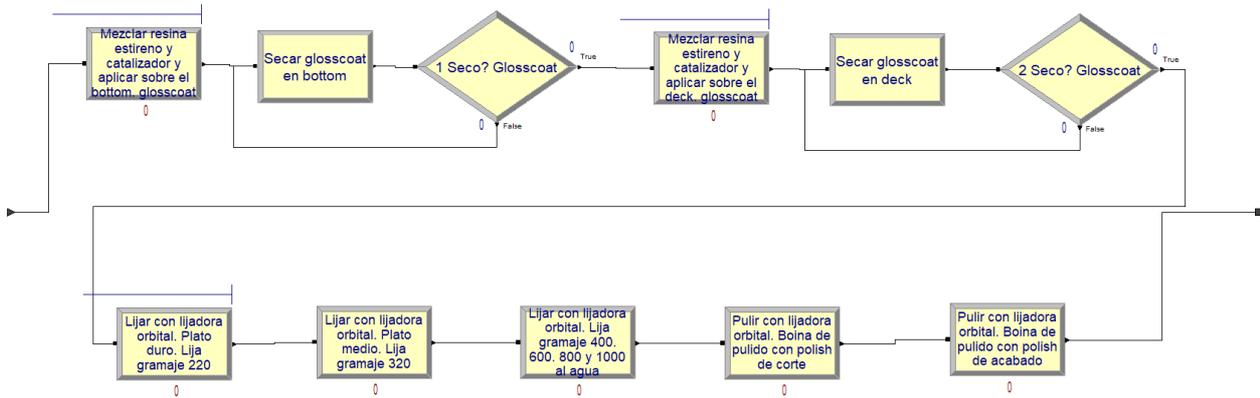


Figura 57. Subproceso “Glosscoat” en Arena

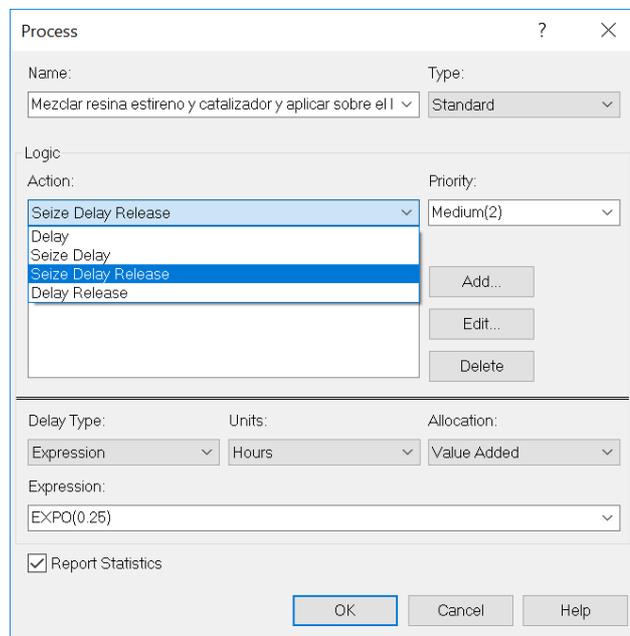


Figura 58. Cuadro de diálogo módulo *Process*

Finalizada la construcción del modelo, podemos correr la simulación.

6.2 Simulación del modelo

Antes de correr la simulación es necesario configurar los parámetros de simulación. Recordemos que accedemos mediante la instrucción *Run/Setup*. El cuadro de diálogo resultante tras ejecutar dicha instrucción se muestra en la Figura 59, en el que se ha configurado una jornada de cuatro horas diarias. Asimismo, en lugar de definir una longitud de replicación, se ha establecido que ésta dure hasta que la producción de las 100 tablas haya finalizado. Como Arena devuelve la fecha en la que concluye la simulación, es posible calcular el tiempo de producción total.

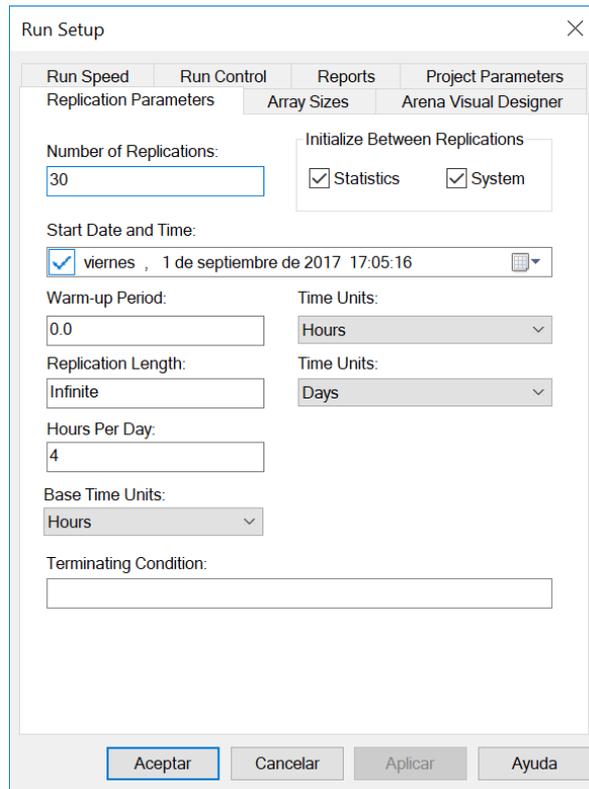


Figura 59. Cuadro de diálogo para la configuración de parámetros de simulación

En la Figura 60 se refleja la animación en Arena mientras la simulación se está ejecutando. Es posible modificar la figura representativa de la entidad, así como agregar módulos o gráficas que permitan ver el estado de la simulación. En este caso se ha añadido un reloj que representa el valor actual del tiempo de simulación mediante una variable global llamada *TNOW*. También se ha incorporado un calendario para comprobar el avance en función del tiempo.

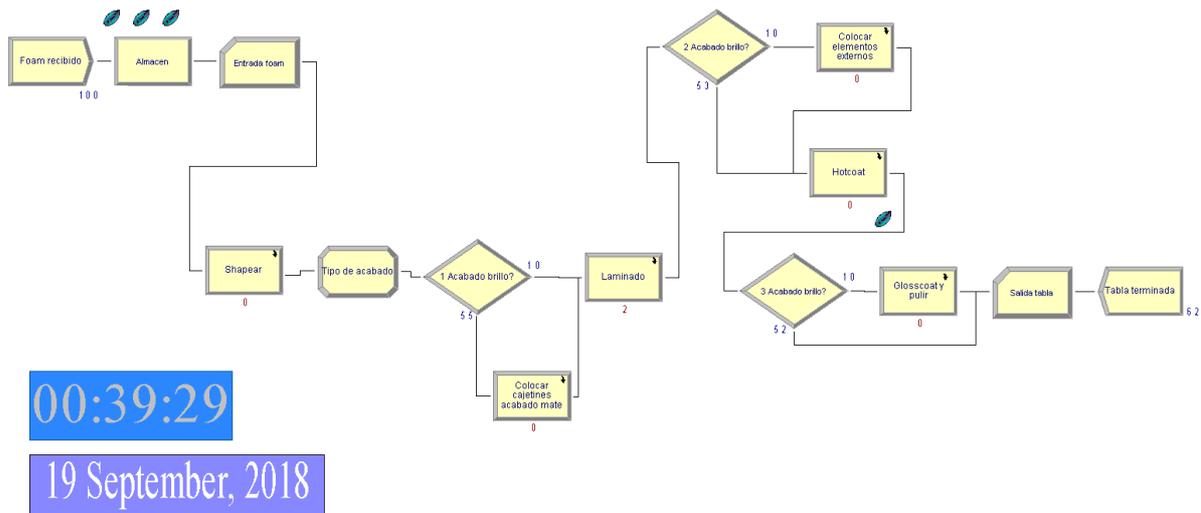


Figura 60. Animación de la simulación en Arena

Concluida la simulación, procedemos a analizar los resultados. En este caso, al haber simulado treinta replicaciones, únicamente estudiaremos la última, en la que el sistema está más estable. La Tabla 11 ofrece el reporte generado. En primer lugar, que la fecha de finalización es en febrero de 2019, lo que quiere decir que se ha tardado un año y cinco meses, aproximadamente, en fabricar cien tablas. La referencia de producción que

teníamos eran cincuenta productos finales en un año. Dado que Arena no tiene en cuenta los fines de semana y festivos, deducimos que los resultados obtenidos se ajustan a la realidad, ya que se ha cumplido en un tiempo viable.

Beginning replication 30 of 30

ARENA Simulation Results
nalaxm@hotmail.com - License: STUDENT

Summary for Replication 30 of 30

Project: Proceso fabricación
Analyst: Malena Ruiz Romero

Replication ended at time : 2133.9353 Hours (Sunday, February 17, 2019, 04:41:58)
Base Time Units: Hours

TALLY VARIABLES

Identifiier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Brillo.VATime	7.8369	(Insuf)	5.9105	10.579	23
Brillo.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Brillo.WaitTime	1254.6	(Insuf)	75.462	2076.3	23
Brillo.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Brillo.OtherTime	4.2989	(Insuf)	.69353	14.496	23
Brillo.TotalTime	1266.8	(Insuf)	87.556	2096.7	23
Foam.VATime	--	--	--	--	0
Foam.NVATime	--	--	--	--	0
Foam.WaitTime	--	--	--	--	0
Foam.TranTime	--	--	--	--	0
Foam.OtherTime	--	--	--	--	0
Foam.TotalTime	--	--	--	--	0
Mate.VATime	4.8192	(Insuf)	2.4005	11.826	77
Mate.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	77
Mate.WaitTime	1069.5	(Insuf)	28.600	2122.1	77
Mate.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	77
Mate.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	77
Mate.TotalTime	1074.4	(Insuf)	32.824	2133.9	77
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato d	.03189	(Insuf)	.00000	.50646	23
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00569	(Insuf)	.00000	.56861	100
Realizar hueco marcado en el shape.AB.Queue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Realizar hueco marcado en el shape.AM.Queue	.00748	(Insuf)	.00000	.27316	77
Almacen.Queue.WaitingTime	1055.3	(Insuf)	.00000	2092.4	100
Lijar foam gramaje 80 y 120.Queue.WaitingT	.00696	(Insuf)	.00000	.21968	100
Enmascarar el deck.Queue.WaitingTime	.00959	(Insuf)	.00000	.67324	100
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.03285	(Insuf)	.00000	.75558	23
Lijar con lijadora orbital.Plato duro.Lija	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Laminar refuerzo de fibra de vidrio sobre	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	23
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato m	.04429	(Insuf)	.00000	1.6147	77
Cutlap deck.Queue.WaitingTime	.01155	(Insuf)	.00000	.61731	100
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00886	(Insuf)	.00000	.88588	100

Tabla 11. Resultados de simulación en Arena: Modelo Inicial (*Tally Variables*)

En la Tabla 11 también se muestran los valores promedio, mínimos y máximos para las diferentes categorías de tiempo. En el campo del intervalo de confianza aparece el término (*Insuf*) que se usa para determinar que el número de muestras para poder calcularlo no fue suficiente. Los tiempos obtenidos son coherentes y se ajustan al proceso real.

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifíer	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Brillo.WIP	.78959	(Insuf)	.00000	3.0000	.00000
Foam.WIP	49.488	(Insuf)	.00000	100.00	.00000
Mate.WIP	2.1447	(Insuf)	.00000	3.0000	.00000
Operario.NumberBusy	.25836	.03536	.00000	2.0000	.00000
Operario.NumberScheduled	2.0000	(Insuf)	2.0000	2.0000	2.0000
Operario.Utilization	.12918	.01768	.00000	1.0000	.00000
Lijadora.pulidora.NumberBusy	.06577	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijadora.pulidora.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Lijadora.pulidora.Utilization	.06577	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato d	3.4374E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	2.6646E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Realizar hueco marcado en el shape.AB.Queue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Realizar hueco marcado en el shape.AM.Queue	2.6985E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Almacen.Queue.NumberInQueue	49.455	(Insuf)	.00000	97.000	.00000
Lijar foam gramaje 80 y 120.Queue.NumberIn	3.2602E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Enmascarar el deck.Queue.NumberInQueue	4.4919E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	3.5408E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijar con lijadora orbital.Plato duro.Lija	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Laminar refuerzo de fibra de vidrio sobre	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato m	.00160	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Cutlap deck.Queue.NumberInQueue	5.4112E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	4.1514E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000

COUNTERS

Identifíer	Count	Limit
Salidas	100	Infinite
Entradas	100	Infinite

OUTPUTS

Identifíer	Value
Brillo.NumberIn	23.000
Brillo.NumberOut	23.000
Foam.NumberIn	100.00
Foam.NumberOut	100.00
Mate.NumberIn	77.000
Mate.NumberOut	77.000
Operario.NumberSeized	838.00
Operario.ScheduledUtilization	.12918
Lijadora.pulidora.NumberSeized	123.00
Lijadora.pulidora.ScheduledUtilization	.06577
System.NumberOut	100.00

Tabla 12. Resultados de simulación en Arena: Modelo Inicial (*Discrete-Event Variables, Counters y Outputs*)

6.3 Análisis What-If

En este apartado realizaremos un análisis *What-If* en el que configuramos un nuevo escenario con el objetivo de compararlo con el actual y ver cómo reaccionan las variables de respuesta elegidas. En la Figura 61 se refleja el cuadro de diálogo del *Process Analyzer*, donde aparecen las variables de control y de respuesta elegidas. En este caso, aumentaremos dos unidades el recurso operario y, por lo tanto, si fuese eficiente, se apreciaría un cambio notable en los tiempos de espera de las entidades que salen del sistema, tablas acabado brillo y mate.

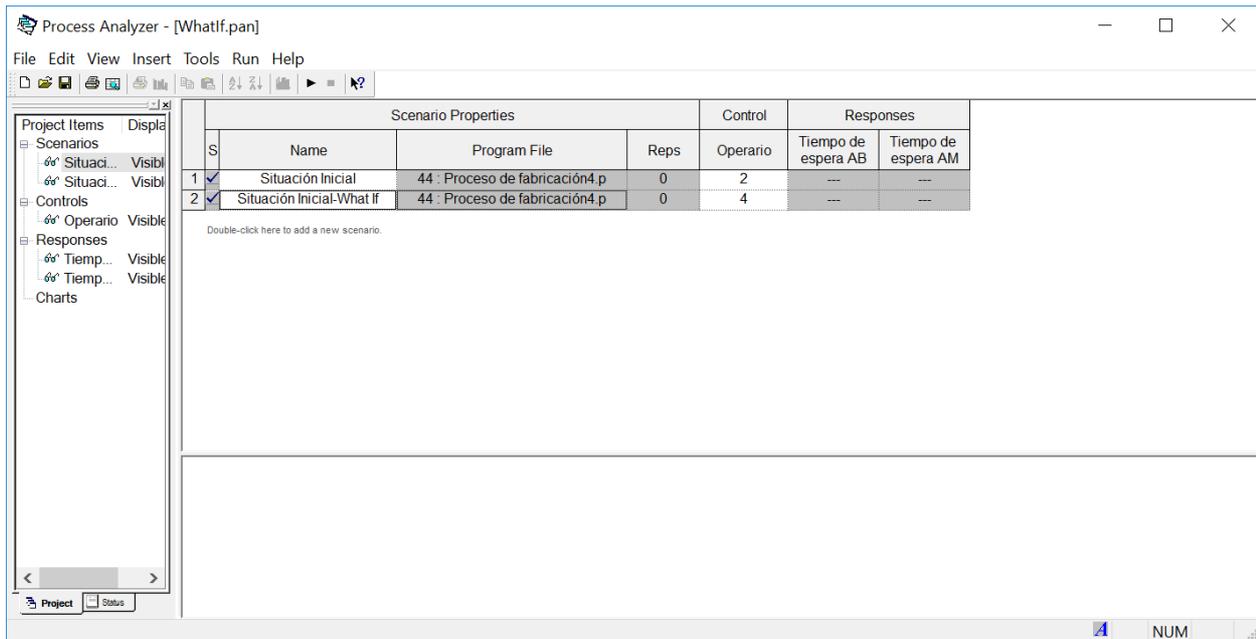


Figura 61. Cuadro de diálogo para configurar un nuevo escenario en Arena

Al interpretar los resultados mostrados en la Tabla 13, comprobamos que los tiempos de espera apenas han variado. Esto quiere decir que el proceso no tiene un problema de capacidad de recursos, sino que, al tratarse de la elaboración de tablas de manera artesanal, requieren tiempos de proceso y espera elevados.

Scenario Properties				Control	Responses	
S	Name	Program File	Reps	Operario	Tiempo de espera AB	Tiempo de espera AM
1	Situación Inicial	44 : Proceso de fabricación4.p	30	2	1172.383	1175.771
2	Situación Inicial-What If	44 : Proceso de fabricación4.p	30	4	1147.637	1188.635

Tabla 13. Resultado de análisis *What-If* en Arena

Además, se ha querido comprobar si el problema es la limitación de capacidad de producción debida al límite de caballetes. En este caso diremos que $NC(Entradas) - NC(Salidas) \leq 6$, permitiendo procesar hasta siete tablas a la vez. Aun pareciendo un aumento elevado, si comparamos los resultados de la simulación del nuevo modelo contemplados en la Tabla 14 y en la Tabla 15 con los del modelo inicial, los datos no difieren en exceso, aun habiendo aumentado la capacidad de producción más del doble. Sí se aprecia un tiempo de producción total mucho menor, ya que sólo se han necesitado ocho meses para producir las cien tablas. Es lógico que, si se aumenta el número de recursos, aumenta con ello la producción. Sin embargo, los tiempos en las colas de los procesos han variado mínimamente. Podemos deducir entonces que se trata de un proceso llevado a cabo de manera manual, con elevados tiempos de espera y tiempos de proceso moderadamente altos. Por este motivo la magnitud de los tiempos máximos es considerable.

Beginning replication 30 of 30

ARENA Simulation Results
nalaxm@hotmail.com - License: STUDENT

Summary for Replication 30 of 30

Project: Proceso fabricación
Analyst: Malena Ruiz Romero

Run execution date : 9/10/2017
Model revision date: 9/10/2017

Replication ended at time : 985.28563 Hours (Sunday, May 06, 2018, 00:48:06)
Base Time Units: Hours

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Brillo.VATime	8.0196	(Insuf)	5.6513	10.585	20
Brillo.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	20
Brillo.WaitTime	517.73	(Insuf)	48.091	974.99	20
Brillo.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	20
Brillo.OtherTime	4.1740	(Insuf)	.29935	8.8736	20
Brillo.TotalTime	529.92	(Insuf)	59.598	985.28	20
Foam.VATime	--	--	--	--	0
Foam.NVATime	--	--	--	--	0
Foam.WaitTime	--	--	--	--	0
Foam.TranTime	--	--	--	--	0
Foam.OtherTime	--	--	--	--	0
Foam.TotalTime	--	--	--	--	0
Mate.VATime	5.0637	(Insuf)	1.8312	10.581	80
Mate.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	80
Mate.WaitTime	464.72	(Insuf)	56.276	879.02	80
Mate.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	80
Mate.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	80
Mate.TotalTime	469.78	(Insuf)	61.636	884.70	80
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato d	.16630	(Insuf)	.00000	2.3770	20
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.04979	(Insuf)	.00000	1.7130	100
Realizar hueco marcado en el shape.AB.Queue	.02734	(Insuf)	.00000	.37503	20
Realizar hueco marcado en el shape.AM.Queue	.11722	(Insuf)	.00000	2.1145	80
Almacen.Queue.WaitingTime	420.01	(Insuf)	.00000	838.29	100
Lijar foam gramaje 80 y 120.Queue.WaitingT	.07127	(Insuf)	.00000	1.0212	100
Enmascarar el deck.Queue.WaitingTime	.12400	(Insuf)	.00000	1.8511	100
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.02200	(Insuf)	.00000	.44010	20
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.10727	(Insuf)	.00000	1.2852	20
Lijar con lijadora orbital.Plato duro.Lija	.21932	(Insuf)	.00000	1.4437	20
Laminar refuerzo de fibra de vidrio sobre	.06958	(Insuf)	.00000	.91024	20
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	20
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.03738	(Insuf)	.00000	.74765	20
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato m	.19264	(Insuf)	.00000	2.4329	80
Cutlap deck.Queue.WaitingTime	.03853	(Insuf)	.00000	1.2648	100
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.06864	(Insuf)	.00000	1.5400	100

Tabla 14. Resultados de simulación en Arena: Modelo Modificado (*Tally Variables*)

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifíer	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Brillo.WIP	1.2198	(Insuf)	.00000	3.0000	.00000
Foam.WIP	42.704	(Insuf)	.00000	100.00	.00000
Mate.WIP	4.9765	(Insuf)	.00000	7.0000	.00000
Operario.NumberBusy	.57394	(Corr)	.00000	2.0000	.00000
Operario.NumberScheduled	2.0000	(Insuf)	2.0000	2.0000	2.0000
Operario.Utilization	.28697	(Corr)	.00000	1.0000	.00000
Lijadora.pulidora.NumberBusy	.14217	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijadora.pulidora.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Lijadora.pulidora.Utilization	.14217	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato d	.00338	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00505	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Realizar hueco marcado en el shape.AB.Queue	5.5501E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Realizar hueco marcado en el shape.AM.Queue	.00952	(Insuf)	.00000	3.0000	.00000
Almacen.Queue.NumberInQueue	42.629	(Insuf)	.00000	93.000	.00000
Lijar foam gramaje 80 y 120.Queue.NumberIn	.00723	(Insuf)	.00000	5.0000	.00000
Enmascarar el deck.Queue.NumberInQueue	.01258	(Insuf)	.00000	3.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	4.4667E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00218	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijar con lijadora orbital.Plato duro.Lija	.00445	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Laminar refuerzo de fibra de vidrio sobre	.00141	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Colocar logos impresos en papel de arroz s	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Colocar logos impresos en papel de arroz s	7.5882E-04	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Lijar hotcoat con lijadora orbital plato m	.01564	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Cutlap deck.Queue.NumberInQueue	.00391	(Insuf)	.00000	2.0000	.00000
Mezclar resina estireno y catalizador y ap	.00697	(Insuf)	.00000	2.0000	.00000

COUNTERS

Identifíer	Count	Limit
Salidas	100	Infinite
Entradas	100	Infinite

OUTPUTS

Identifíer	Value
Brillo.NumberIn	20.000
Brillo.NumberOut	20.000
Foam.NumberIn	100.00
Foam.NumberOut	100.00
Mate.NumberIn	80.000
Mate.NumberOut	80.000
Operario.NumberSeized	820.00
Operario.ScheduledUtilization	.28697
Lijadora.pulidora.NumberSeized	120.00
Lijadora.pulidora.ScheduledUtilization	.14217
System.NumberOut	100.00

Tabla 15. Resultados de simulación en Arena: Modelo Modificado (*Discrete-Event Variables, Counters y Outputs*)

7 ESTUDIO COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS

7.1 Introducción

Una vez realizada la descripción de las herramientas y obtenidos los resultados de simulación, podemos extraer las conclusiones pertinentes para llevar a cabo el análisis comparativo. Para llevar a cabo una comparativa lo más completa posible, se enfocará desde varios puntos de vista, ya que cada simulador tiene puntos fuertes en diferentes aspectos.

Hay que tener en cuenta que las versiones de ambas herramientas han sido utilizadas con la licencia gratuita, y/o académica, por lo que se han presentado algunas limitaciones. En el caso de Bizagi Modeler, la herramienta en sí tiene un alcance bastante limitado. Respecto a Arena, la licencia académica sólo permite un máximo de llegadas de 150 entidades. Además, el número de elementos a utilizar para la construcción del modelo está limitada. Esto ha provocado que se incrementase el tiempo dedicado al modelado, en ambas herramientas, ya que el diseño se ha replanteado en varias ocasiones hasta solventar estos inconvenientes y conseguir modelos con un comportamiento similar.

7.2 Estudio comparativo

Con propósito de obtener una comparación lo más objetiva posible, se ha tratado de modelar de una manera similar en ambas herramientas, salvando las diferencias de cada software. Debido a esto, los modelos resultantes tienen comportamientos parecidos.

7.2.1 Modelado

A la hora de construir el modelo, tanto Bizagi Modeler como Arena Simulation, presentan notables diferencias, aunque también tienen algunas similitudes. Ambas herramientas presentan interfaces similares al entorno Windows, siendo bastantes intuitivas. Además, como ya hemos visto en los capítulos 6 y 7, es posible crear subprocesos en los dos softwares, simplificando así el modelo principal. Por último, cabe destacar que ambas permiten duplicar o copiar elementos, permitiendo agilizar el montaje del diagrama. Sin embargo, cada simulador presenta sus ventajas e inconvenientes.

Como ya hemos visto, el diagrama representativo del proceso es construido en Bizagi Modeler sin la introducción de datos, ya que estos se van configurando en los niveles de simulación. El montaje del modelo se realiza de forma muy sencilla, además de disponer cada elemento una breve descripción de su función. Por otra parte, el diagrama resultante tiene una apariencia atractiva, ya que Bizagi permite alinear y distribuir bloques, modificar la fuente del texto e incluso cambiar la apariencia de los elementos.

En Arena, los datos referentes a los módulos son introducidos a medida que el modelo avanza, mediante los cuadros de diálogo de los propios bloques. La ordenación de los módulos se realiza manualmente, por lo que difícilmente se consigue alinearlos. Además, presenta otro inconveniente puramente estético, el hecho de no poder variar el tamaño de los elementos para ajustar el texto, por lo que a veces se lee con dificultad si el texto es demasiado explícito.

Ambas herramientas requieren prácticamente el mismo tiempo para poder construir el diagrama. Sin embargo, hay limitaciones que de ambas herramientas que afectan al comportamiento del modelo final. Para visualizar

con mayor claridad los aspectos en los que difieren ambas herramientas, vamos a esquematizar las ventajas de cada una frente a los inconvenientes de la otra. En verde aparecerá sombreada la celda que indique una ventaja, mientras que inmediatamente debajo se encontrará en rojo aquella que plasme una desventaja referente a la idea descrita previamente. Dentro de cada una de las celdas anteriores habrá unas letras que identifiquen la herramienta a la que el comentario adyacente hace alusión: Bizagi Modeler (BM) ó Arena Simulation (AS). A continuación, en la Tabla 16 y Tabla 17 se resumen las ventajas y desventajas de ambos softwares respecto al modelado:

Ventajas Arena Simulation	
AS	Obliga a asignar un nombre único a cada elemento, facilitando su localización en los informes de resultados.
BM	Permite definir con el mismo nombre varios módulos. Puede inducir a error a la hora de interpretar los resultados.
AS	Únicamente se configura un módulo de entrada de entidades (<i>Create</i>) por diagrama.
BM	Hay que definir un evento inicial por cada subprocesso, además del que regula la llegada de entidades en el modelo principal. Esto resulta tedioso a la hora de introducir los datos.
AS	Permite distinguir diferentes tipos de entidad, incluso asignar nuevos atributos
BM	Sólo deja crear un tipo de entidad
AS	Configuración del módulo <i>Decide</i> muy completa. Permite dividir el flujo según porcentajes o condición, además de posibilitar múltiples salidas
BM	Las compuertas exclusivas únicamente permiten dividir el flujo según porcentajes. Si se desea una tercera salida, es necesario añadir otra compuerta.
AS	Las expresiones de los módulos se introducen de manera sencilla, incluso facilitándolo la opción <i>Build Expresion</i> .
BM	Es difícil definir expresiones, además de no ser útil en este caso ya que no permite distinguir entidades.
AS	Permite asignar distintas acciones al módulo Process en función del recurso. De este modo, si se desea mantener un mismo recurso ocupado en una etapa del proceso, permite modelarlo. El recurso será liberado cuando se indique.
BM	Un recurso, al quedar disponible, se mueve a cualquier punto del proceso aun queriendo que ejecutase la actividad adyacente.
AS	Asignación de prioridad de recursos en los procesos.
BM	No es posible definir prioridades de recursos, la asignación la realiza el software.

Tabla 16. Tabla comparativa: Ventajas de Arena Simulation en modelado

Ventajas Bizagi Modeler	
BM	La versión gratuita no establece límites
AS	La licencia académica establece un número máximo de llegadas muy bajo y los elementos necesarios para la construcción de diagramas están limitados en número
BM	Crea unos diagramas visualmente más atractivos. Facilita la ordenación de los módulos con una interfaz muy similar a los productos de Microsoft Office.
AS	Diagrama más austero sin posibilidad de organizar los elementos con la herramienta.
BM	Introducción de datos paulatina en diferentes niveles, permitiendo identificar errores a lo largo de las distintas simulaciones
AS	Los datos de simulación se introducen a medida que se construye el modelo, no pudiendo detectar incidencias hasta que todos los datos han sido introducidos

Tabla 17. Tabla comparativa: Ventajas de Bizagi Modeler en modelado

7.2.2 Tiempo de simulación

En este aspecto, Arena es muy ventajosa respecto a Bizagi. En primer lugar, Arena ofrece la opción de simular en modo *Batch*, eliminando la animación y disminuyendo altamente el tiempo de simulación. Además, si se desea observar el comportamiento del sistema durante la simulación (cómo van actualizándose las variables o dibujando las gráficas), permite ajustar la velocidad de la misma. En el caso de Bizagi no presenta ningún tipo de opción a la hora de ejecutarla.

7.2.3 Resultados de simulación

La simulación que utiliza Bizagi Modeler se basa en el estándar *BPSim*, por lo que existen algunas restricciones inherentes al propio estándar. Arena Simulation asume un nivel de detalle de datos mucho mayor, por este motivo el informe de resultados que genera es de mayor calidad en comparación con el de Bizagi Modeler. Como ya vimos en el punto 3.2.4, tras finalizar la simulación, Arena crea una estructura con todas las categorías de reportes, por las cuales puedes navegar a través de ellas de manera análoga al explorador de Windows. De esta forma puedes elegir qué datos ver, sin necesidad de buscar en un archivo genérico. A continuación, se muestran la Tabla 18 y la Tabla 19, que resumen las ventajas de cada una de las herramientas:

Ventajas Arena Simulation	
AS	Diseño de gráficas muy completo.
BM	No genera gráficas con los resultados de simulación.
AS	Opción de simular con animación o sin ella, exportando directamente el informe de resultados (modo <i>Batch</i>).
BM	No permite obtener los resultados de forma inmediata sin correr la simulación.
AS	Permite ajustar la velocidad de simulación.
BM	No es posible realizar ningún ajuste.
AS	Los resultados contienen datos de simulación muy detallados.
BM	Informes sin mucho nivel de detalle.
AS	Es posible elegir los datos que se quieren mostrar en el informe de resultados.
BM	Si se simula el último nivel, el informe obtenido contiene todos los datos, sin opción a elegir cuáles exportar.
AS	Para la animación, es posible añadir elementos como gráficos, calendarios o reloj con las variables globales o del sistema que se elijan.
BM	No permite ver nada durante la simulación, más que los datos que aparecen por defecto.
AS	Para el análisis <i>What-If</i> se eligen variables de respuesta y controles específicos, comparando únicamente los datos seleccionados para todos los escenarios.
BM	Genera un informe muy pesado con todos los datos de simulación de los escenarios, por lo que resulta difícil de manejar. La exportación a Excel puede ser muy lenta.

Tabla 18. Tabla comparativa: Ventajas de Arena Simulation en simulación

Ventajas Bizagi Modeler	
BM	Permite eliminar los fines de semana en la configuración <i>Calendarios</i> , así como establecer horarios de trabajo.
AS	Únicamente permite configurar las horas que se trabajan al día.
BM	Al generar el informe de resultados tras un análisis <i>What-If</i> , marca aquellos resultados que han variado en los escenarios simulados.
AS	Cuando se simulan varios escenarios es difícil encontrar los cambios en la tabla resumen.

Tabla 19. Tabla comparativa: Ventajas de Bizagi Modeler en simulación

Finalmente, la Tabla 20 resume los aspectos que tienen en común los dos softwares.

Similitudes	
AS/BM	Permiten la creación de subprocesos.
AS/BM	Compatibilidad con productos de Microsoft Office.
AS/BM	Posibilidad de duplicar bloques para agilizar la construcción de modelos.
AS/BM	Configuración de diferentes escenarios y posibilidad de contrastar resultados.
AS/BM	Ambos manejan las distribuciones estadísticas más comunes.

Tabla 20. Similitudes de ambas herramientas

7.3 Conclusiones

Para concluir, después de haber estado trabajando con ambos programas, se pueden extraer las siguientes conclusiones. En primera instancia se construyó el modelo mediante Bizagi Modeler. Este modelo inicial contenía los elementos que valoré como necesarios para ofrecer una representación del proceso real lo más clara posible. Sin embargo, al modelarlo en Arena, cuya versión empleada tiene un límite de doscientos elementos, tuve que rediseñar ambos diagramas. Sin embargo, Arena ha resultado reflejar con mayor exactitud el comportamiento real del proceso, ya que contiene módulos y consigue funciones que Bizagi no logra reproducir. Aunque el proceso se defina de forma secuencial mediante un diagrama de flujo en ambos softwares, Arena permite incluir módulos que describan de manera más explícita su funcionamiento. A pesar de esto, Bizagi resulta más amigable para validar el proceso por personas no expertas en el modelado, proporcionando unos procesos más comprensibles.

Tras haber realizado tantas comprobaciones acerca del funcionamiento de los procesos, hay que destacar la ventaja de Arena sobre Bizagi a la hora de ejecutar una simulación. El modo *Batch* de la primera herramienta permite ahorrar mucho tiempo cuando el objetivo es comprobar el estado del modelo. Además, los reportes generados al realizar un análisis What-If en Bizagi ralentiza el programa, pudiendo estar un largo periodo de tiempo ocupado exportando dichos resultados a Excel.

Finalmente, creo que Bizagi es muy útil para simular otro tipo de situaciones, más orientadas a procesos de negocio, mientras que Arena modela de forma más real casos como el analizado en este documento.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Automation, R. (2005). Arena User Guide. *October*, 78(October), 142. <https://doi.org/10.2307/778906>
- Charnes, J. M., Morrice, D. J., Brunner, D. T., & Swain, J. J. (1996). Business Process Simulation. *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*, 93–98. <https://doi.org/10.1145/324898.325282>
- Coss, R. (1993). *Simulación: Un enfoque práctico*. Limusa.
- Fábregas, A., Wadnipar, R., Paternina, C., & Mancilla, A. (2003). *Simulación de Sistemas Productivos con Arena* (1st ed.). Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Greasley, A. (2006). Using process mapping and business process simulation to support a process-based approach to change in a public sector organisation. *Technovation*, 26(1), 95–103.
- Maria Mach-Król, T. P.-P. (2014). *Advances in Intelligent Systems and Computing 257 Advances in Business ICT*. Springer. Retrieved from http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb2595878__Sbusiness process simulation__P0%2C17__Orightresult__U__X1?lang=spi&suite=cobalt
- Melão, N., & Pidd, M. (2003). Use of business process simulation: A survey of practitioners. *Journal of the Operational Research Society*, 54(1), 2–10. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601477>
- Morelos, C., Fabiola, B., Leal, C., & Betiny, C. (2004). *El impacto de la estrategia global de la empresa en la información financiera y administrativa*. Universidad de las Américas Puebla. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/ladi/carmona_m_bf/capitulo1.pdf
- Paolucci, E., Bonci, F., & Russi, V. (1997). Redesigning organisations through business process re-engineering and object-orientation. In *In Proceedings of the European Conference on Information Systems* (pp. 587–601). Ireland.
- Prajapat, N., & Tiwari, A. (2017). A review of assembly optimisation applications using discrete event simulation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30, 215–228. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2016.1145812>
- Safari, A. (2016). An Effective Practical Approach for Business Process Modeling and Simulation in Service Industries. *Knowledge and Process Management*, 23(1), 31–45. <https://doi.org/10.1002/kpm.1496>
- Schriber, T. J., & Brunner, D. T. (1997). Inside Discrete-Event Simulation Software : How it Works and Why it Matters. In S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, B. L. Nelson, T. J. Schriber, & D. T. Brunner (Eds.), *1997 Winter Simulation Conference* (pp. 14–22). Indiana, Michigan.
- Soto Álvarez, J. (2009). *Modelos de simulación de eventos discretos: ¿por qué, cómo y cuándo?* (No. 3).
- Sukno, R. (2013). Conceptos de Gestión de Procesos de Negocio Concepts of Business Process Management. *Revista Universitaria Ruta*, II, 2–19. Retrieved from <http://revistas.userena.cl/index.php/ruta/article/view/491>
- Van Der Aalst, W. M. (2015). Business process simulation survival guide. In *Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods, and Information Systems* (pp. 337–370). https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_15
- Van der Aalst, W. M. P. (2004). *Business Process Management Demystified: A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management*. (J. Desel, W. Reisig, & G. Rozenberg, Eds.). Eindhoven: Springer Berlin Heidelberg.
- Van Der Aalst, W. M. P. (2013). Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software*

Engineering, 507984. <https://doi.org/10.1155/2013/507984>

Wong, W. P., Tseng, M.-L., & Tan, K. H. (2014). Total Quality Management & Business Excellence: A business process management capabilities perspective on organisation performance, *25*(5-6), 602–617.