

# GUÍA PARA LOS INGENIEROS INDUSTRIALES EN EL MANEJO DEL SOFTWARE ARENA

**Estudiante Roxanna Alba Cruz**

*Universidad de Matanza, sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca  
Km.3½, Matanzas, Cuba. [roxanna.alba@umcc.cu](mailto:roxanna.alba@umcc.cu)*

## **Resumen**

Una de las herramientas tecnológicas que facilitan al ser humano a hacer un trabajo más rápido y sencillo en estos días son los *softwares* ya que ellos tienen distintos tipos de utilización. Entre estos podemos mencionar el programa arena que tiene como fin la simulación por computadora, que nos ofrece un mejor entendimiento y las cualidades del sistema. Este trabajo estudia las capacidades del Arena para la simulación de sistemas. El objetivo principal es crear una guía básica para los ingenieros industriales en la utilización de este *software*. El resultado principal se basa en la obtención de una búsqueda bibliográfica que permita confeccionar un procedimiento para el manejo de este programa en proyecciones futuras. Se espera que los estudiantes sean capaces de modelar procesos que ayuden a mejorar el rendimiento de las empresas, que encuentren alternativas, soluciones y puedan hacer predicciones más acertadas.

***Palabras claves:** Arena; herramientas tecnológicas; procedimiento softwares; simulación.*

---

## Introducción

En cualquier actividad productiva se propugna obtener el máximo beneficio. La mejor opción sería experimentar sobre el propio sistema, cuando eso no es posible, se crean situaciones similares al sistema (prototipos a escala o simulaciones). Existen distintas alternativas/herramientas en la simulación de procesos, que van desde las de propósito general, hasta las específicas de los distintos sistemas productivos.

La capacidad del ser humano, sobre otros animales, de poder abstraer los aspectos principales de una realidad y sus interrelaciones, pudiendo crear modelos reales o imaginarios que representen ese medio, le proporciona la herramienta necesaria para la comprensión del mundo que le rodea, ejercitándose con parcelas reducidas y evolucionando progresivamente a una visión unificada de sistemas cada vez más complejos.

La simulación, haciendo uso de esta capacidad, es el diseño de un modelo a partir de un sistema “real” que permite experimentar sobre dicho modelo para describir, explicar y predecir el comportamiento del sistema real.

En la mayoría de los casos, las interrelaciones que componen el sistema serán lo suficientemente complicadas y complejas como para hacer inviable la obtención de soluciones analíticas exactas con métodos matemáticos. Es pues la simulación una buena herramienta para el estudio de estos sistemas.

No se aspira a encontrar soluciones analíticas y exactas del problema, sino a la mejor comprensión de los sistemas en estudio. La simulación con ordenador se refiere a una serie de métodos para estudiar una amplia variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante evaluación numérica, usando un *software* apropiado, diseñado para imitar las operaciones o características del sistema, frecuentemente con respecto al tiempo.

Desde un punto de vista práctico, la simulación es el proceso de diseño y creación de un modelo por ordenador a partir de un sistema real o propuesto, con el fin de dirigir experimentos numéricos para comprender mejor el comportamiento de dicho sistema según un conjunto de condiciones dado.

La simulación moderna maneja situaciones que describen el contexto y además es un experimento estadístico y en consecuencia sus resultados se deben interpretar de esta manera. En definitiva, los empresarios confían con más facilidad en modelos que simulen la realidad construidos a partir de parámetros y formulas fácilmente identificables dentro del sistema real, que en modelos matemáticos que, con toda seguridad, pueden ofrecer la misma o mejor calidad en las conclusiones, pero que resultan más complicados de entender y necesitan de un conocimiento previo en la materia.

El objetivo de este trabajo es confeccionar una guía básica para los ingenieros industriales en la utilización de este *software*, para proyecciones futuras.

## Desarrollo

### Capítulo I: *Software Arena*.

Los *softwares* de simulación han sido aplicados para modelar sistemas dinámicos complejos que no son posibles mediante otros métodos estocásticos, por su versatilidad y la posibilidad de experimentar con diferentes opciones sin que esto represente un alto costo o una violación de la realidad; además de la facilidad de interpretación de resultados sin conocimientos previos, lo cual representa un instrumento eficaz en la toma de decisiones en las empresas de todo tipo y en donde sus líderes pueden manejar o no este tipo de instrumentos.

La simulación es una poderosa herramienta que involucra el desarrollar del modelo del sistema y la experimentación para determinar cómo reacciona el sistema ante diversas condiciones.

Arena es un *software* utilizado por las cinco principales empresas de cadenas de suministro en el mundo, de acuerdo a su sitio web es una herramienta capaz de mejorar procesos de situaciones reales y hacer predicciones en cuanto posibles resultados.

El *software* ARENA se origina en 1982 cuando Dennis Pedgen publicó el primer lenguaje de simulación de propósito general para modelar sistemas de manufactura en una PC (Sucasaire Placencia, 2016).

A continuación, una búsqueda bibliográfica sobre los conceptos de *software* de simulación Arena:

Tabla 1.1: Conceptos de *software* de simulación Arena.

Concepto	Autor, Año
...este <i>software</i> de simulación provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una gran variedad de campos.	(Banks et al., 2005)
Arena es un potente <i>software</i> de modelado y simulación de diferentes áreas de negocio. Se ha diseñado para analizar el impacto de los cambios que suponen los complejos y significativos rediseños asociados a la cadena de suministros, procesos, logística, distribución y almacenaje y sistemas de servicio. Tiene gran flexibilidad y cubre gran cantidad de aplicaciones a modelar con cualquier nivel de detalle o	(Bradley, 2007)

complejidad.	
Arena es una aplicación (creada por <i>Rockwell Software</i> ) del sistema operativo <i>Windows</i> de <i>Microsoft</i> (totalmente compatible con otros <i>softwares</i> de <i>Windows</i> ) que permite la realización de modelos de simulación con un elevado nivel de detalle, tanto conceptualmente como con el uso de animaciones.	Gómez (2012)
El <i>software</i> ARENA es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos. Este <i>software</i> integra, en un ambiente amigable y comprensible, todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa.	(Sucasaire Placencia, 2016).
Es un programa desarrollado por <i>Rockwell Automation.</i> , que se usará para realizar la simulación. Normalmente este programa se ha usado para simular procesos discretos.	(López Hernández, 2016).
El Simulador Arena es un <i>software</i> de simulación de eventos discretos para la optimización de procesos complejos, con el que se pueden representar y analizar el comportamiento de un sistema complejo como una serie de eventos bien definidos y ordenados en el tiempo.	(López Pallares y Fontalvo Mercado, 2019).

Fuente: elaboración propia

Arena puede ser integrado con las tecnologías de *Microsoft*, incluye *Visual Basic* para aplicaciones de los modelos que pueden ser aún más automatizado si se necesitan algoritmos específicos. También es compatible con la importación de *Microsoft Visio* diagramas de flujo, así como la lectura de salida o de hojas de cálculo *Excel* y bases de datos de acceso, *Hosting controles ActiveX* también es compatible (Bolaños Plata, 2014).

Partiendo de un proceso dado se puede generar diferentes escenarios para buscar la solución a un problema sin una causa clara, o permite encontrar el mejor escenario minimizando el riesgo de una futura inversión. Mediante el modelado del proceso se pueden identificar cuellos de botella dentro del sistema o al contrario identificar cuellos sobredimensionados innecesarios en el mismo (López Pallares y Fontalvo Mercado, 2019).

Sus principales características según (Banks et al., 2005) son:

- Soporta sistemas de simulación discreta y continua, o bien combinada.
- La edición *Arena Básica* está orientada a modelar procesos de negocio y otros sistemas en dinámica de procesos de flujos jerárquicos y almacenamiento de sistemas de información en hojas de cálculo.
- Compatibilidad de salidas a hojas de cálculo, procesadores de texto y de flujo de operaciones en ambiente *Windows*.
- Diseño basado en objetos.
- Enfoque a manufactura y sistemas de manejo de materiales, aunque también usado en otros entornos (incluidas otras versiones de la familia).
- La edición *Arena Professional* es sobresaliente en personalización de objetos de simulación, terminología, lógica de procesos datos, métricos de desempeño y animación.
- Animación que incorpora a *AutoCAD*, *Visio* y otros gráficos.

Otras características del simulador *Arena* las plantean (López Pallares y Fontalvo Mercado, 2019):

- Bloques de construcción predefinidos para modelar el proceso sin necesidad de programación.
- Amplia gama de opciones de distribuciones estadísticas para modelar la variabilidad del proceso.
- Métricas de rendimiento, análisis estadístico y generación de informes.
- Capacidades realistas de animación en 2D y 3D.

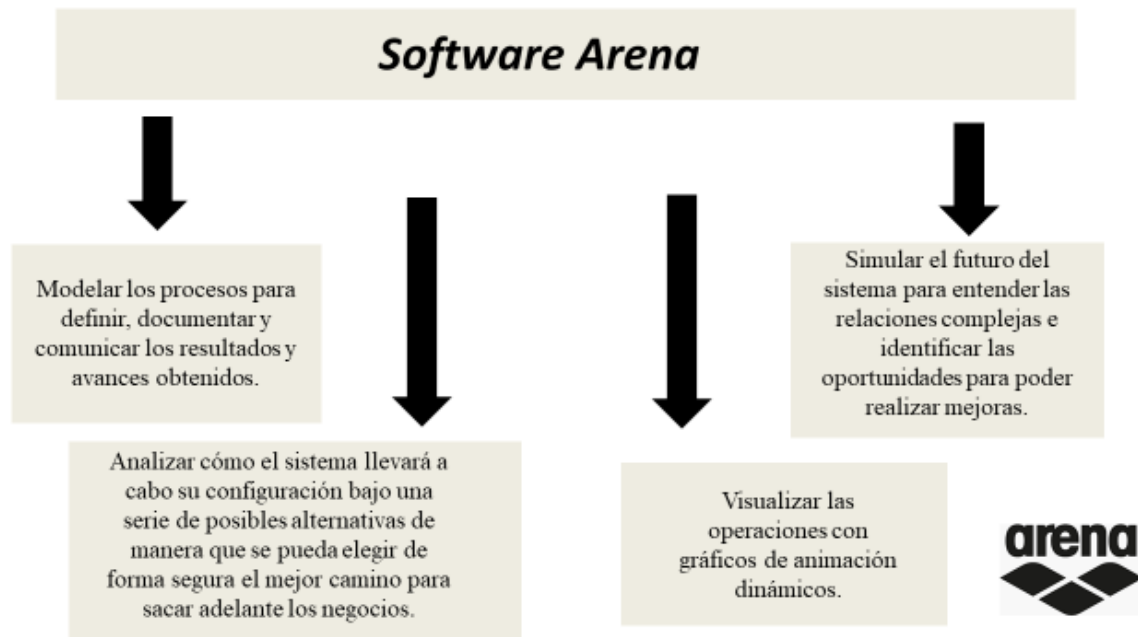
Por tanto, un escenario típico de *software Arena* incluye según (López Pallares y Fontalvo Mercado, 2019):

- Análisis detallado del tipo de sistema de manufactura, incluyendo el transporte manual de componentes.
- Análisis de servicio al cliente y sistemas de dirección orientados al consumidor.
- Análisis de cadenas de suministro globales que incluyen almacenamiento, transporte y sistemas logísticos.

- Predicción del funcionamiento de sistemas en función de medidas clave como costes, tasa de salida de piezas, tiempos de ciclo y utilización.
- Identificación de los procesos cuello de botella como colas construidas con sobreutilización de recursos.
- Planificación del personal, equipos y requerimientos de material.

Por último, a modo de resumen, se muestra lo que es posible hacer con Arena:

Figura 1.1: Acciones a realizar con el *software* Arena.

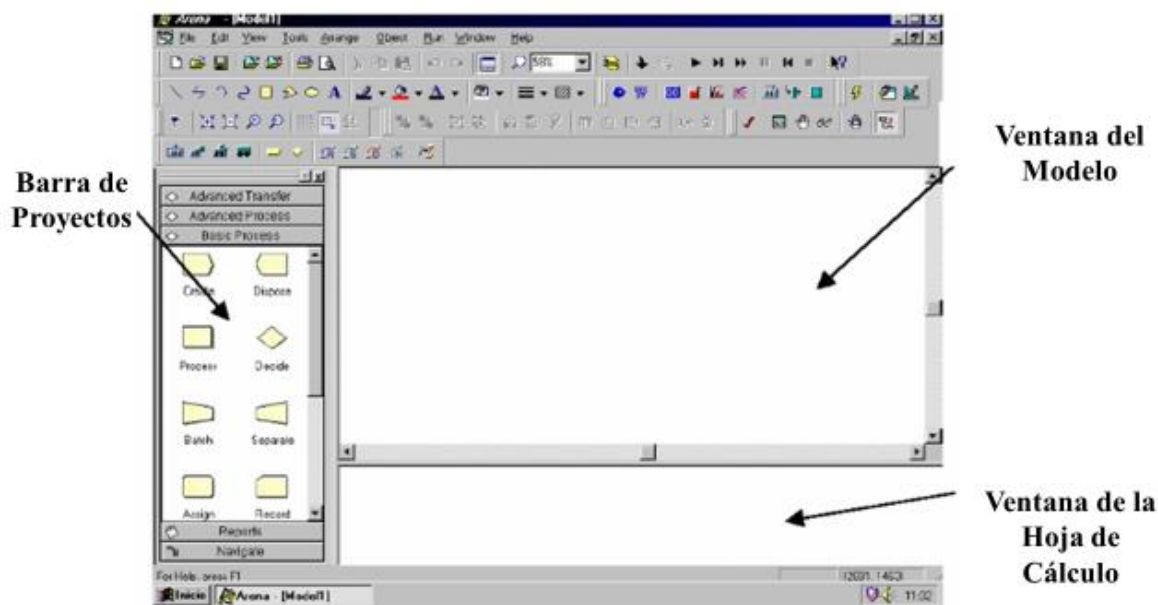


Fuente: elaboración propia

*Arena Software* es un simulador intuitivo gracias a que la programación está basada en la colocación y unión gráfica de distintos módulos de proceso.

El entorno de modelado de Arena consta de tres zonas diferenciada.

Figura 1.2: Ventana de Arena.



Fuente: Salida del *Software* Arena.

Ventana del diagrama de flujo del modelo (*Model window flowchart view*) En este espacio se construye el diagrama de bloques que conforman el modelo de simulación del proceso. En esta ventana pueden observarse también los elementos gráficos y animaciones de las simulaciones.

Ventana de hoja de cálculo (*Model window spreadsheet view*) En esta ventana se pueden comprobar y modificar los parámetros correspondientes a los bloques (procesos) y a las entidades.

Barra de Proyectos (*Project Bar*) Este espacio tiene varios paneles desplegables que permiten diseñar el modelo. Dichos paneles contienen los módulos necesarios para construir el modelo, así como otros elementos como los informes estadísticos de las simulaciones o un panel de navegación que facilita la localización del modelo de la ventana del diagrama de flujo.

La construcción de un modelo es relativamente fácil pues una vez diseñado el diagrama de flujos y la secuenciación de los eventos discretos del proceso, basta con “arrastrar” módulos de la zona de proyectos a la zona del diagrama de flujo y darles valores a los parámetros correspondientes.

El programa consta de distintos módulos dependiendo del tipo de proceso a simular, entre los cuales se usarán el módulo básico, el avanzado y el de flujo para simular la parte continua del proceso (López Hernández, 2016).



Las líneas de conexión se utilizan para unir los módulos entre sí y especifica el flujo de las entidades. Mientras que los módulos tienen acciones específicas relativas a las entidades, de flujo y de tiempo, la representación exacta de cada módulo y de las entidades con respecto a los objetos de la vida real está sujeta al modelador. Los datos estadísticos, como el tiempo de ciclo y los niveles de WIP (trabajo en proceso), se pueden grabar y emitir los informes (Bolaños Plata, 2014).


Descripción de los módulos de proceso


A continuación, se realiza una descripción de los principales módulos de flujo y de datos del *software* según la guía de (Bradley, 2007)



Tabla 1.2: Resumen de los Módulos de flujo. *Basic Proces*

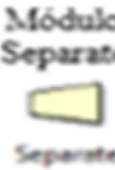



Módulos de flujo	Simboliza	Parámetros
<p>Módulo Create</p> 	<p>Este módulo representa la llegada de entidades al modelo de simulación. Las entidades se crean usando una planificación o basándose en el tiempo entre llegadas. En este módulo se especifica también el tipo de entidad de que se trata. Una vez se incluye en el modelo a la derecha del símbolo aparece bajo una línea, el número de entidades creadas.</p>	<p>-<i>Name</i>: identificador único del módulo.  -<i>Entity Type</i>: nombre del tipo de entidad a ser generada.  -<i>Type</i>: tipo de flujo de llegada a generar. Los tipos incluidos son: <i>Random</i> (usa una distribución exponencial y hay que indicar la media), <i>Shedule</i> (usa una distribución exponencial pero la media a partir del módulo <i>Shedule</i> especificado), <i>Constant</i> (se especifica un valor constante), o Expresión (se puede elegir entre distintas distribuciones).  -<i>Value</i>: Determina la media de distribución exponencial (si se usa <i>Random</i>) o el valor constante (si se usa <i>Constant</i>) para el tiempo entre llegadas.  -<i>Shedule name</i>: identifica el nombre de la planificación a usar. La planificación define el formato de llegada para las entidades que llegan al sistema. Solo se aplica cuando se utiliza en <i>Type</i>, <i>Shedule</i>.  -<i>Expression</i>: cualquier distribución o valor que especifique el tiempo entre llegadas. Se aplica solo cuando se usa en <i>Type</i>, <i>Shedule</i>.  -<i>Unit</i>: unidades de tiempo que se usan para los tiempos entre llegadas y de la primera creación.  -<i>Entities per Arrival</i>: número de identidades que se introducirán en el sistema en un momento dado con cada llegada.  -<i>Max Arrivals</i>: número máximo de identidades que generará este módulo.  -<i>First Creation</i>: momento de inicio en el que la llega la primera entidad al sistema.</p>
<p>Módulo Dispose</p> 	<p>Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación. Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.</p>	<p>-<i>Name</i>: identificador único del modelo.  -<i>Record EntityStatistics</i>: determina si las estadísticas de las entidades entrantes se registrarán o no. Estas estadísticas incluyen <i>value-added time</i>, <i>nonvalue-added time</i>, <i>wait time</i>, <i>transfer time</i>, <i>other time</i>, <i>total time</i>, <i>valueadded cost</i>, <i>non-value-added cost</i>, <i>wait cost</i>, <i>transfer cost</i>, <i>other cost</i>, <i>total cost</i>.</p>

<p>Módulo Process</p>  <p>Process</p>	<p>Este módulo corresponde a la principal forma de procesamiento de la simulación. Se dispone de opciones para ocupar y liberar un recurso. Adicionalmente existe la opción de especificar un “submodelo” y especificar jerárquicamente la lógica definida por el usuario. El tiempo de proceso se le añade a la entidad y se puede considerar como valor añadido, valor no-añadido, transferencia, espera u otros. Una vez se introduce en el modelo, aparece un número en la parte inferior del símbolo que indica el número de entidades que actualmente están procesándose.</p>	<p>-<i>Name</i>: identificador único del modelo.  -<i>Type</i>: método que especifica la lógica dentro del módulo. Un procesado <i>Standar</i> significa que toda la lógica se guardará dentro de un módulo <i>Process</i> y se definirá por una acción (<i>Action</i>) particular. <i>Submodel</i> indica que la lógica se definirá jerárquicamente en un “submodelo” que puede incluir un número indeterminado de módulos lógicos.  -<i>Action</i>: tipo de proceso que tendrá lugar dentro del módulo. Existen cuatro tipos: <i>Delay</i>, <i>Seize Delay</i> y <i>Seize Delay Release</i>. <i>Delay</i> indica que solamente se llevará cabo un proceso de retardo sin que existan restricciones de recursos. <i>Seize Delay</i> indica que un recurso designará en este módulo y que habrá un retardo y la liberación del recurso ocurrirá más tarde. <i>Seize Delay Release</i> indica que se asignará un recurso seguido por un retardo y luego, se liberará el recurso reservado. <i>Delay Release</i> indica que un recurso ha sido reservado previamente y que la entidad se retardará simplemente, y luego se liberará el recurso especificado.  -<i>Priority</i>: valor de prioridad de la entidad que espera acceder en este módulo un determinado recurso si una o más entidades esperan el mismo recurso (s) en cualquier lugar en el modelo.  -<i>Resources</i>: Lista del recurso o conjunto de recursos utilizados para procesar la entidad. No se aplica cuando <i>Action</i> tiene el valor de <i>Delay</i> o cuando <i>Type</i> es submodel.  -<i>Delay Type</i>: Tipo de distribución o método de especificar los parámetros del retardo. <i>Constant</i> y <i>Expression</i> requieren valores simples, mientras que <i>Normal</i>, <i>Uniform</i> y <i>Triangular</i> requieren varios parámetros.  -<i>Units</i>: Unidades de tiempo para los paraámetros de retardo.  -<i>Allocation</i>: Determina cómo se asigna el tiempo de procesado y el coste del proceso a la entidad.  -<i>Minimum</i>: Valor mínimo en el caso de una distribución uniforme triangular.  -<i>Value</i>: valor medio para una distribución normal, el valor constante para un retardo de tiempo constant, o la moda para una distribución triangular.</p>
--	---	--

		<p><i>-Maximum:</i> Valor máximo para una distribución uniforme o triangular.</p> <p><i>-Std Dev:</i> desviación estándar para una distribución normal.</p> <p><i>-Expression:</i> cuyo valor se evalúa y se usa para el procesado del retardo de tiempo.</p>
<p>Módulo Decide</p>  <p>Decide</p>	<p>Este módulo permite a los procesos tomar decisiones en el sistema. Incluye la opción de tomar decisiones basándose en una o más condiciones (por ejemplo, si el tipo de la entidad es Gold Car) o basándose en una o más propiedades (por ejemplo, 75% verdadero, 25% falso). Las condiciones se pueden basar en valores de atributos (por ejemplo, prioridad, valores de variables, (por ejemplo, número de rechazados) el tipo de entidad o una expresión. Hay dos puntos de salida del módulo. Decide cuando se especifica el tipo <i>2-way chance</i> o <i>2-way condition</i>. Hay un punto de salida para las entidades “verdaderas” y una para las entidades “falsas”. Cuando se especifica el tipo <i>Nway chance</i> o <i>condition</i>, aparecen múltiples puntos de salida para cada condición o probabilidad y una única salida “<i>else</i>”. Una vez incluido en el módulo, cerca de cada una de las ramas que salen del símbolo que representa el modulo, aparece un número. En la rama «<i>True</i>» corresponde al número de entidades que toman la rama de verdadero y el de la rama «<i>False</i>» el número de entidades que toma la rama de falso.</p>	<p><i>-Name:</i> identificador único del modelo.</p> <p><i>-Type:</i> indica si la decisión se basa en una condición o es aleatoria porcentual. El tipo se puede expresar como 2-way o N-way. 2-way permite definir una condición o probabilidad (más la salida “false”). N-way permite definir cualquier número de condiciones o probabilidades, a parte de la salida “false”.</p> <p><i>-Condition:</i> define una o más condiciones que se usan para dirigir las entidades a distintos módulos.</p> <p><i>-Percentages:</i> define uno o más porcentajes usados para encaminar a las entidades a distintos módulos.</p> <p><i>-Percent True:</i> valor que se comprobará para determinar el porcentaje a las entidades que se han enviado a través de la salida <i>True</i>.</p> <p><i>-If:</i> Tipo de condiciones disponibles para ser evaluados.</p> <p><i>-Named:</i> especifica el nombre de la variable, atributo o tipo de entidad que se evaluarán cuando una entidad entre en el módulo.</p> <p><i>-Is:</i> evaluador de la condición.</p> <p><i>-Value:</i> expresión que se comparará con una variable o atributo o que se evaluará como única expresión para determinar si es verdadero o falso.</p>

<p><b>Assign</b></p> 	<p>Este módulo se usa para asignar valores nuevos a las variables, a los atributos de las entidades, tipos de entidades, figuras de las entidades, u otras variables del sistema. Se pueden hacer múltiples asignaciones con un único módulo <i>Assign</i>. Para añadir una única variable al modelo, simplemente se selecciona <i>Add</i>, <i>Type: Entity</i>, el nombre de la variable y el valor que se desea tome a partir de este momento.</p>	<p>-<i>Name</i>: identificador único del modelo.          -<i>Assignments</i>: especifica la o las asignaciones que se llevarán a cabo cuando la entidad ejecute el módulo.          -<i>Type</i>: tipo de asignación que se va a realizar. <i>Other</i>, puede incluir variables del sistema, tales como capacidad de los recursos o tiempo de finalización de la simulación.          -<i>Variable name</i>: nombre de la variable a la cual se le asignará un nuevo valor.          -<i>Attribute Name</i>: nombre del atributo de la entidad al que se le asignará un nuevo valor.          -<i>Entity Type</i>: Nuevo tipo de entidad que se le asignará a la entidad cuando entre en el módulo.          -<i>Entity Picture</i>: nueva imagen de la entidad que se le asignará.          -<i>Other</i>: identifica la variable del sistema especial a la que se le asignará un nuevo valor.          -<i>New value</i>: valor asignado al atributo, variable, u otras variables del sistema.</p>
<p><b>Módulo Batch</b></p> 	<p>Este módulo funciona como un mecanismo de agrupamiento dentro del modelo de simulación. Los lotes pueden estar agrupados permanente o temporalmente. Los lotes temporales deben estar divididos posteriormente usando el módulo <i>Separate</i>. Los lotes se pueden realizar con un número específico de entidades de entrada o se pueden unir a partir del valor de un determinado atributo. Las entidades que llegan a un módulo <i>batch</i> se coloca en una cola hasta que se ha acumulado el número necesario de entidades. Una vez acumuladas se crea una nueva entidad representativa. Cuando se incluye en el módulo, en la parte inferior del símbolo se representa el número de entidades en espera de ser</p>	<p>- <i>Name</i>: identificador único del modelo.          -<i>Type</i>: método de agrupamiento de las entidades.          -<i>Batch Size</i>: número de entidades a ser agrupadas.          -<i>Save criterion</i>; método para asignar valores de atributos definidos por el usuario representativo de la entidad.          -<i>Rule</i>: determina como se agruparán las entidades que llegan <i>Any Entity</i> tomará las primeras "<i>Batch Size</i>" entidades que lleguen y las unirá todas juntas. <i>By Attribute</i> significa que los valores de los atributos especificados deben coincidir para poder ser agrupados.</p>


	agrupadas.	
	<p>Este módulo se puede usar para replicar la entidad entrante en múltiples entidades o para dividir una entidad previamente agrupada. Se especifican también las reglas de asignación de atributos para las entidades miembro. Cuando se segmentan lotes existentes, la entidad temporal que se formó se destruye y las entidades que originalmente formaron el grupo se recuperan. Las entidades saldrán del sistema secuencialmente en el mismo orden en que originalmente se agregaron en al lote. Cuando se duplican entidades, se hacen el número de copias especificado. En el símbolo que representa este módulo el original sale por la rama superior y el duplicado por la rama inferior.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Name</i>: identificador único del modelo.</li> <li>- <i>Type</i>: método de separación de las unidades entrantes.</li> <li>- <i>Duplicate original</i>: toma la entidad original y realiza un cierto número de copias idénticas. <i>Split Existing Batch</i> requiere que la entidad entrante sea una entidad agrupada temporalmente utilizando el módulo <i>Batch</i>. Las entidades originales se desagruparán.</li> <li>- <i>Percent Cost to Duplicates</i>: distribución de costes y tiempos de la entidad entrantes en los duplicados salientes.</li> <li>- <i># of duplicates</i>: número de entidades salientes que dejarán el módulo, además de la entidad entrante original.</li> <li>- <i>Member attributes</i>: método de determinar cómo asignar valores de los atributos de entidad representativa a las entidades originales.</li> <li>- <i>Attribute Name</i>: nombre del atributo (s) de la entidad representativa que se asignan a las entidades originales del grupo.</li> </ul>
	<p>Este módulo se usa para recoger estadísticas del modelo de simulación. Se dispone de varios tipos de estadísticas observables, incluyendo el tiempo entre salidas a través del módulo, estadísticas de entidad (tiempo, costes, etc.), observaciones generales, y estadísticas de intervalo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Name</i>: Identificador único del módulo.</li> <li>- <i>Type</i>: Tipo de observación o cuenta estadística a generar. <i>Count</i> incrementará o decrementará el valor de la estadística mencionada en el valor especificado. <i>Entity Statistics</i> generará estadísticas de entidad, tales como tiempo y coste/duración de la información. <i>Time interval</i> calculará y registrará la diferencia entre el valor de un atributo especificado y el tiempo de simulación actual. <i>Time Between</i> seguirá y registrará el tiempo entre entidades que llegan al módulo. <i>Expression</i> registrará el valor de la expresión especificada.</li> <li>- <i>Attribute Name</i>: Nombre del atributo cuyo valor se usará en las estadísticas de intervalo.</li> <li>- <i>Value</i>: Valor que se registrará en las estadísticas observadas cuando en <i>Type</i> se haya seleccionado <i>Expression</i> o que se añadirá al contador cuando <i>Type</i> sea <i>Count</i>.</li> <li>- <i>Tally Name</i>: Define el nombre del símbolo de la</li> </ul>


		<p>cuenta en la que se registrará la cuenta.</p> <p><i>Counter Name:</i> Define el nombre del símbolo del contador para incrementar/decrementar.</p> <p><i>-Record into Set:</i> Botón de selección para especificar si se va a usar un conjunto de cuentas o contadores o no.</p> <p><i>-Tally Set Name:</i> Nombre del conjunto de cuentas que se usarán para registrar estadísticas de tipo observacional.</p> <p><i>-Counter Set Name:</i> Nombre del conjunto de contadores que se usarán para registrar estadísticas de tipo cuenta.</p> <p><i>-Set Index:</i> Índice dentro del conjunto de cuentas o contadores.</p>
--	--	--


Fuente: elaboración propia

También existen los conocidos Módulos de datos presentados en la siguiente tabla:



Tabla 1.3: Resumen de los módulos de datos del panel de Proceso Básico.


Módulos	Simboliza	Posibles usos:	Parámetros
<p>Módulo <i>Entity</i></p> 	<p>Este módulo de datos define los diversos tipos de entidades y su valor de imagen inicial en la simulación.</p>	<p>-Elementos que se van a producir o ensamblar (piezas, pallets). Documentos: formularios, e-mails, faxes, informes...</p> <p>-Gente que se mueve a través del proceso (clientes).</p>	<p><i>Entity Type:</i> nombre de la entidad que se va a definir.</p> <p><i>Initial Picture:</i> representación gráfica de la entidad al inicio de la simulación.</p> <p><i>Holding Cost/Hour:</i> coste por horas de procesamiento de la entidad a lo largo del sistema. Este coste se sufre siempre que la entidad se encuentre en cualquier sitio del sistema.</p> <p><i>Initial VA Cost:</i> valor de coste inicial que se asignará al atributo <i>valueadded cost</i> de la entidad. Este atributo acumula al coste sufrido cuando una entidad pasa tiempo en una actividad de espera; por ejemplo, esperando a ser metida en un lote o esperando un recurso(s)</p>

			<p>en un módulo <i>Process</i>.</p> <p><i>Initial Transfer Cost</i>: valor de coste inicial que se le asignará al atributo de coste de transferencia de la entidad. Este atributo acumula el coste sufrido cuando una entidad pasa tiempo en una actividad de transferencia.</p> <p><i>Initial Other Cost</i>: valor de coste inicial que se asignará al atributo <i>other cost</i> de la entidad. Este atributo acumula el coste sufrido cuando una entidad pasa tiempo en una actividad de transferencia.</p>
<p>Módulo <i>Queue</i></p> 	<p>Este módulo de datos se puede usar para cambiar la regla para una determinada cola. La regla de la cola por defecto es <i>First In, First Out</i> salvo que se indique otra cosa en este módulo. Hay un campo adicional que permite definir la cola como compartida.</p>	<p>Cola de trabajos esperando un recurso en un módulo <i>Process</i>. Área de almacenamiento de documentos que esperan ser cotejados en un módulo <i>Batch</i>.</p>	<p><i>Name</i>: nombre de la cola cuyas características se van a definir.</p> <p><i>Type</i>: regla de encolado para la cola, la cual puede estar basada en un atributo. Los tipos incluyen <i>First In, First Out; Last In, First Out; Lowest Attribute Value</i> (primero); y <i>Highest Attribute Value</i> (primero). Un valor de atributo bajo puede ser 0 o 1, mientras que un valor alto puede ser 200 o 300.</p> <p><i>Attribute name</i>: atributo que se evaluará para los tipos <i>Lowest Attribute Value</i> o <i>Highest Attribute Value</i>. Las entidades con valores de atributos más bajos o más altos serán encoladas primero en la cola.</p> <p><i>Shared</i>: campo de selección que determina si una determinada cola se usa en múltiples sitios dentro del modelo de simulación. Sólo se puede usar en el caso de recursos de petición (es decir, con el módulo <i>Seize</i> del panel <i>Advanced Process</i>).</p>
<p>Módulo <i>Resource</i></p>	<p>Este módulo de datos define los recursos en un sistema de</p>	<p>-Equipamiento (maquinaria, caja registradora,</p>	<p><i>Name</i>: nombre del recurso cuyas características se deben definir.</p> <p><i>Type</i>: método para determinar la capacidad de un recurso. <i>Fixed</i></p>

 Resource	simulación, incluyendo información de costes y disponibilidad del recurso. Los recursos pueden tener una capacidad fija que no varía durante la simulación o pueden operar basándose en una planificación. Los fallos y estados del recurso se pueden definir también en este módulo.	línea de teléfono). -Gente (empleados, procesadores de órdenes, empleados de ventas, operadores).	<i>Capacity</i> no cambiarán durante la simulación. <i>Based on Schedule</i> significa que se usa el módulo <i>Schedule</i> para especificar la capacidad y duración del recurso. <i>Capacity</i> : número de unidades de recurso de un determinado nombre que están disponibles en el sistema para el procesamiento. <i>Schedule name</i> : Identifica el nombre de la planificación a usar por parte del recurso. El planificador define la capacidad del recurso para un periodo de tiempo determinado. <i>Schedule Rule</i> : determina cuándo debe ocurrir el cambio de capacidad cuando se requiere una disminución de la capacidad para una unidad de recurso muy ocupada. <i>Busy/Hour</i> : coste por hora de un recurso que está procesando una entidad. <i>Idle/Hour</i> : coste por hora del recurso cuando está libre. <i>Per Use</i> : coste de un recurso en base al uso, independientemente del tiempo durante el cual se esté usando. <i>StateSet Name</i> : nombre de los estados que se le pueden asignar a un recurso durante la simulación. <i>Initial State</i> : estado inicial del recurso. <i>Failures</i> : lista todos los fallos asociados con el recurso.
Módulo <i>Schedule</i>	Este módulo de datos se puede usar en conjunción con el módulo <i>Resource</i> para definir una	-Planificación del trabajo, incluyendo descansos, para la plantilla. Esquemas de	<i>Name</i> : nombre de la planificación que se va a definir. <i>Type</i> : tipo de planificación que se va a definir. Puede ser relativa a <i>Capacity</i> (para planificaciones de recurso), relativa a <i>Arrival</i> (para el



 <b>Schedule</b>	<p>operación de planificación para un recurso o con el módulo <i>Create</i> para definir una planificación de llegada. Además, una planificación se puede usar y referir a factores de retardos de tiempo basados en el tiempo de simulación.</p>	<p>fallos del equipamiento.  -Volumen de clientes que llegan a un comercio.  -Factores de curva de aprendizaje de los nuevos trabajadores.</p>	<p>módulo <i>Create</i>), o <i>Other</i>.  <i>Time Units</i>: unidades de tiempo empleadas para informar de la duración de tiempo.  <i>Scale Factor</i>: método de escalado de la planificación para incrementar o disminuir los valores de <i>Arrival/Other</i>. Los campos <i>Value</i> se multiplicarán por el factor de escala para determinar los nuevos valores.  <i>Durations</i>: lista los pares valor y duración para la planificación. Los datos de planificación se introducen gráficamente usando el editor de planificaciones gráfico.  <i>Value</i>: representa la capacidad del recurso, la frecuencia de llegadas, o algún otro valor.  <i>Duration</i>: duración de tiempo para la que un <i>Value</i> especificado será válido.</p>
 <b>Set</b>	<p>Este módulo de datos define varios tipos de conjuntos, incluyendo recursos, contadores, cuentas, tipos de entidad, y figuras de entidad. Los conjuntos de recursos se pueden usar en los módulos <i>Process</i> (<i>Seize</i>, <i>Release</i>, <i>Enter</i> y <i>Leave</i> en el panel <i>Advanced Transfer</i>). Los conjuntos <i>counter</i> y <i>tally</i> se pueden usar en el módulo <i>Record</i>. Los</p>	<p>-Máquinas que pueden realizar las mismas operaciones en un servicio de fabricación.  -Supervisores, empleados de caja en un comercio.  -Conjunto de figuras correspondientes a un conjunto de tipos de entidades.</p>	<p><i>Name</i>: nombre del conjunto que se va a definir.  <i>Type</i>: tipo de conjunto que se va a definir.  <i>Members</i>: grupo repetido que especifica los miembros del recurso en el conjunto. El orden es importante si se emplean reglas de selección del tipo <i>Preferred Order</i> y <i>Cyclical</i>.  <i>Resource Name</i>: nombre del recurso a ser incluido en el conjunto de recursos.  <i>Tally Name</i>: nombre de la cuenta dentro del conjunto de cuentas.  <i>Counter Name</i>: nombre del contador dentro del conjunto de contadores.  <i>Entity Type</i>: nombre del tipo de entidad dentro del conjunto de tipos de entidad.</p>

	conjuntos <i>queue</i> se pueden utilizar con <i>Seize</i> , <i>Hold</i> , <i>Access</i> , <i>Request</i> , <i>Leave</i> , y <i>Allocate</i> de los paneles <i>Advanced Process</i> y <i>Advanced Transfer</i> .		<i>Picture Name</i> : nombre de la imagen dentro del conjunto de imágenes.
Módulo Variable  Variable	Este módulo de datos se utiliza para definir una dimensión de la variable y su valor(es) inicial(es). Las variables se pueden referenciar en otros módulos, se les puede reasignar un valor nuevo y se pueden emplear en cualquier expresión.	-Número de documentos procesados por hora. -Número serie a asignar a partes para una identificación única. -Espacio disponible en un servidor.	<i>Name</i> : nombre de la variable que se va a definir. <i>Rows</i> : número de filas en una variable con dimensión. <i>Columns</i> : número de columnas en una variable con dimensión. <i>Statistics</i> : caja de selección para determinar si se recogerán o no estadísticas <i>Clear Option</i> : define el tiempo, en el caso de ser requerido, en que el valor(es) de la variable, se reinicia al valor(es) inicial(es) especificado. Si se escoge <i>Statistics</i> implica reiniciar esta variable a su valor inicial siempre que las estadísticas se borren. Si se escoge <i>System</i> se reinicia la variable a su valor inicial siempre que se reinicia el sistema. <i>None</i> indica que nunca se reinicia la variable a su valor inicial. <i>Initial Values</i> : lista el valor(es) inicial de la variable. <i>Initial Value</i> : valor variable al inicio de la simulación.

Fuente: elaboración propia

Ventajas de implementar el *software* Arena:

Cuando se desarrolla modelos de simulación mediante este *software* tiene ventajas que se pueden mostrar como: (Sucsaire Placencia, 2016).

- Es una herramienta de simulación poderosa.
- Contiene un entorno amigable especialmente diseñado para personas que no poseen conocimientos de programación.
- Sus utilitarios son de fácil manipulación.
- Cuenta con excelente capacidad gráfica.
- Ofrece gran versatilidad pues puede modelar diversos tipos de sistemas (empresas).
- Es compatible con Microsoft Office porque las barras de herramientas, los menús y las teclas aceleradoras de este software son similares a los que usa Microsoft Office.

## Capítulo II: Caso estudio.

Se desea estudiar mediante la simulación el funcionamiento de una lavandería industrial dedicada a la limpieza y planchado de manteles y servilletas. El funcionamiento del sistema se describe a continuación:

La lavandería funciona interrumidamente desde las 8:00am hasta las 20:00pm. A las 8 se reciben las prendas sucias que deben ser lavadas, secadas y planchadas a lo largo del día. Se estima que el peso de las prendas recibidas obedece a la distribución de probabilidad siguiente:

Tabla 2.1: Distribución de probabilidad.

Peso recibido cada día (toneladas)	Probabilidad
4	0.1
6	0.2
8	0.4
10	0.2
14	0.1

Fuente: Elaboración propia

La lavandería dispone de 11 lavadoras y 15 secadoras industriales, que funcionan independientemente entre sí. La capacidad de cada lavadora, al igual que la capacidad de la secadora, es de 100 kg. Por este motivo, las prendas sucias recibidas se dividen para su procesamiento en lotes de 100 kg. Cuando queda una lavadora libre, se carga en ella un lote de 100 kg de ropa sucia. Una vez lavado, el lote espera en la cola FIFO del proceso secado. Cuando una secadora queda libre, el lote es procesado en la secadora y posteriormente es puesto en la cola FIFO del proceso de planchado.

El proceso de planchado es realizado por 4 personas, que trabajan independientemente entre sí. Cada lote de 100 kg es planchado de principio a fin por una de estas personas. Una vez el lote de ropa ha sido planchado, abandona el sistema. Se estima que:

-El tiempo del proceso de lavado, junto con el tiempo estimado de carga y descarga de la máquina, está distribuido de forma normal, con media 80 minutos y desviación estándar 10 minutos.

-El tiempo del proceso de secado, más el tiempo necesario para cargar y descargar la secadora, está distribuido de forma normal, con media 120 minutos y desviación estándar 10 minutos.

-El tiempo necesario para que una persona planche un lote de 100 kg de ropa está distribuido de forma normal, con media 30 minutos y desviación estándar 3 minutos

-Las lavadoras y secadoras pueden trabajar durante las 12 horas de funcionamiento diario del sistema.

-Las personas encargadas de planchar trabajan siete horas y media al día, de acuerdo al horario indicado a continuación. Cada una de estas personas trabaja de 11:00h a 14:00h, de 15:00h a 17:30h y de 18:00h a 20:00h. Es decir, entran a trabajar a las 11:00h, salen a las 20:00h y tienen dos descansos de 14:00h a 15:00h y de 17:30h a 18:00h.

El objetivo del estudio es estimar la utilización media de los recursos y también el número medio de lotes de ropa que permanecen aún en el sistema una vez finalizadas las 12 horas de actividad diaria. Para ello se realizan 200 réplicas independientes del funcionamiento del sistema durante 24 horas. Se supone en todas las réplicas que el sistema esta inicialmente vacío. Es decir, que no queda ropa pendiente por procesar del día anterior.

Describe detalladamente como realizaría el modelo del sistema anterior usando Arena. En particular, dibuje el diagrama de módulos e indique que parámetros del comportamiento del sistema deben definirse en cada módulo.

Solución:

Análisis: primero debemos identificar las entidades, procesos y restricción del sistema:

Entidades: para este caso solo estaría la llegada de la ropa sucia.

Procesos: el proceso de lavado, secado y planchado.

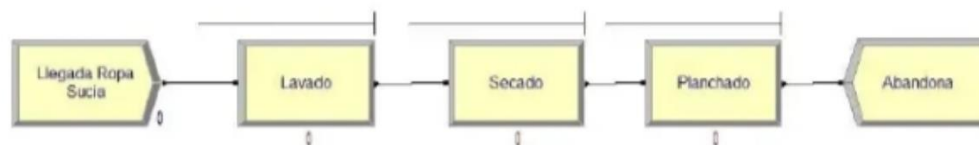
Recursos: el personal autorizado para realizar dicha labor por ejemplo los 4 trabajadores encargados de planchar, las maquinas, como por ejemplo las 11 lavadoras y 15 secadoras.

En la figura 2.1 a-) se muestra el diagrama de módulos del sistema y en la figura 2.1 b-) el proceso de llegada de la ropa sucia. En la definición del experimento véase la figura 2.3 e-) se ha considerado que el día tiene una duración de 24 horas, así pues, la llegada de la ropa sucia se produce en el instante 8 horas. Se produce una única llegada al día. Por ello se indica que el tiempo entre llegadas es constante e igual a 24 horas.

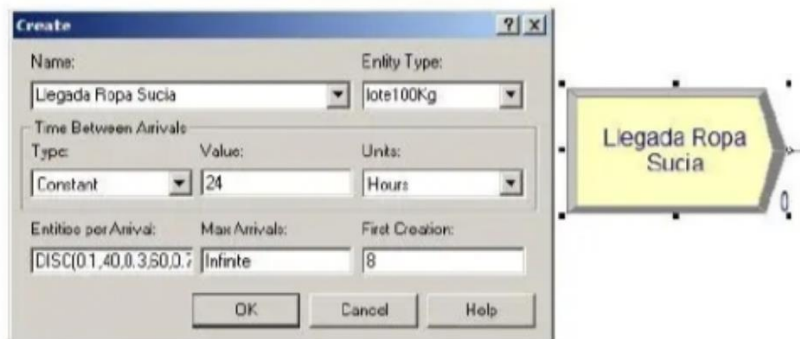
Dado que la ropa se va siendo procesada en lotes de 100kg, el tipo de entidad que circula por el sistema son de 100 kg de ropa. Se ha denominado «lote 100kg» al tipo de entidad, Así, por ejemplo, si se reciben 4 toneladas de ropa sucia, se considera que se han recibido 40 entidades del tipo «lote 100kg». El número de entidades por llegada está distribuido DISC (0.1,40,0.3,60,0.7,80,0.9,100,1,140).

En las figuras 2.1c y 2.2 se muestra la definición de los tres procesos. La capacidad de los recursos se especifica en el módulo de datos *Resource* (véase la figura 2.3.a). La planificación de la capacidad de los recursos se define en el módulo *Schedule* (véase la figura 2.3b). Las planificaciones se definen de la forma mostrada en las figuras 2.3.c-e.

a-)

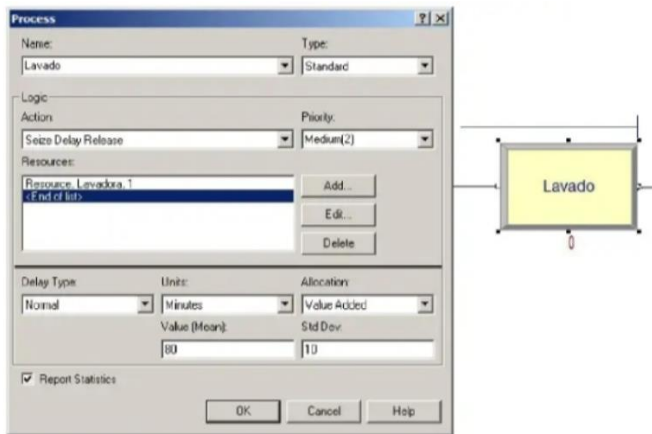


b-)



Modelo: En primer lugar, debe iniciar el sistema con un módulo de *Create* para generar la llegada de la ropa sucia.

c-)

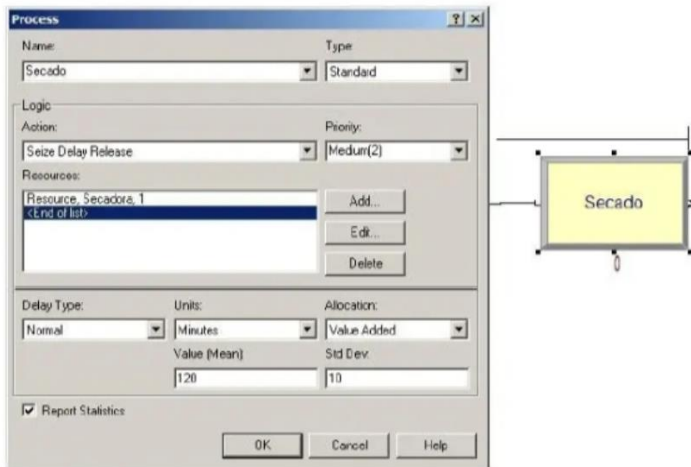


Luego se arrastra el módulo *Process* a la vista de diagrama de flujo, doble clic y configuramos seleccionando la acción “*Seize, Delay and Release*” (ocupar, demorar y soltar), y luego agregamos a los recursos del proceso, y así se hace para todos los módulos *Process*.

Figura 2.1: Modelo de la lavandería:

a-) diagrama de módulos del proceso; b-) proceso de llegada de la ropa sucia; y c-) proceso de lavado.

a-)



b-)

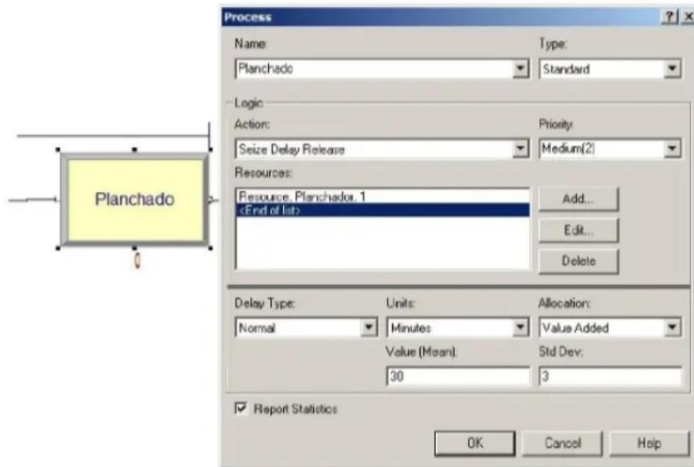


Figura 2.2: Modelo de lavandería:

a-) proceso de secado; b-) proceso de planchado.

Para finalizar arrastramos un módulo *Dispose* para finalizar el sistema. El modelo siempre debe terminar con un módulo *Dispose*.



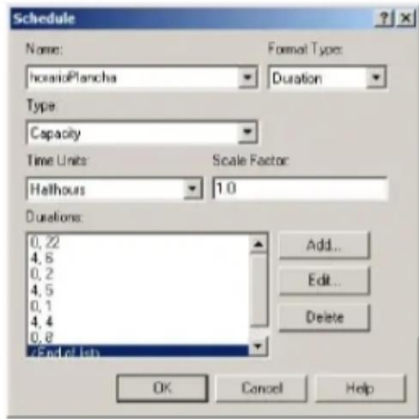
En este caso sería abandona.

a-)

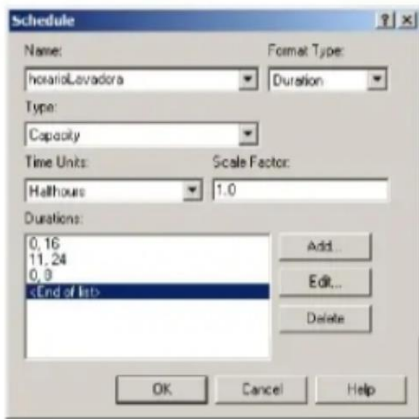
Resource - Basic Process										
	Name	Type	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	State Set Name	Failures	Report Statistics
1	Lavadora	Based on Schedule	horarioLavadora	Preempt	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Secadora	Based on Schedule	horarioSecadora	Preempt	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Planchador	Based on Schedule	horarioPlancha	Preempt	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Schedule - Basic Process						
	Name	Formal Type	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	horarioPlancha	Duration	Capacity	Halfhours	1.0	7 rows
2	horarioLavadora	Duration	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
3	horarioSecadora	Duration	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows

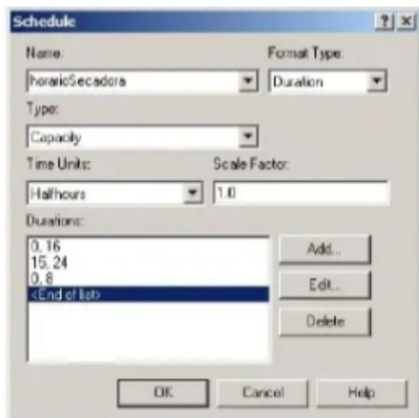
b-)



c-)



d-)





Con esto termina la construcción básica del modelo, entonces se debe configurar los parámetros de corrida con el menú *Run>Setup*.

e-)

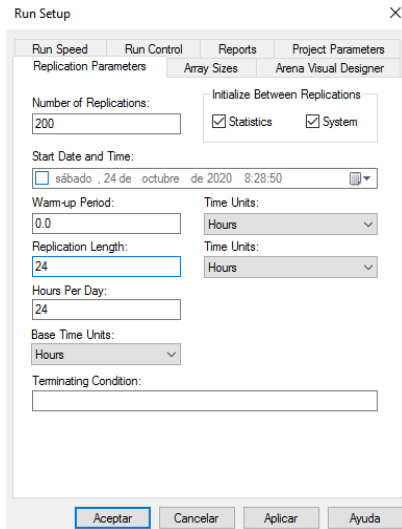


Figura 2.3: Modelo de la lavandería:

a-) Módulo de datos *Resource*; b-) módulo de datos *Schedule*; c-) d-) planificaciones de la capacidad de los recursos; e-) definición del experimento.

Al correr el sistema, después de terminado el tiempo de corrida saldrá un cuadro de dialogo que preguntará si desea ver los resultados de la simulación. Al aceptar la pregunta veremos los resultados al detalle de la simulación, solo es cuestión de buscar e interpretar lo que se busca en los reportes de la simulación.

## Conclusiones

Actualmente las grandes empresas están involucradas en un mercado globalizado, en el cual se mantienen vigentes gracias a las innovaciones y competitividad ante las demás empresas. Una empresa puede tomar decisiones que afecten visiblemente su estado en el mercado, es aquí en donde la simulación empieza a efectuar su trabajo mediante modelos de simulación de procesos con ayuda de *software* especializados como lo es el programa Arena, este programa permite efectuar cambios en los procesos utilizando técnicas de simulación y así asegurar que la toma de decisión sea confiable y evitar el riesgo o el fracaso. El *software* Arena, es escogido entre tantos simuladores por: fácil identificación de los módulos proceso del *software* con los elementos del proceso a simular, posibilidad y facilidad de análisis de sensibilidad de los sistemas de control, tratamiento estadístico de los

resultados por parte del *software*, conocimientos previos del programa por parte del alumno.

## Bibliografía

BANKS, J. et al.. Discrete-Event System Simulation [en línea], NJ, 2005 [consulta: 12 de abril del 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/88b1/26375e37c54ac2c2502a548d8712eb1cb5b2.pdf>.

BOLAÑOS PLATA, O.. *Importancia de la simulación en la mejora de procesos*. Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2014.

BRADLEY, P.. The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical Education* [en línea], 2007, vol. 40, pp. 254-262 [consulta: 12 de abril del 2020], Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16483328/>.

GÓMEZ, C.. Simulación con el Software Arena Resumen de los capítulos 1 al 4 del libro Simulación con Software Arena (4ta edición) de Kelton, Sadowski y Sturrock [en línea], 2012 [consulta: 12 de abril del 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/36396687/Simulación\\_con\\_el\\_Software\\_Arena](https://www.academia.edu/36396687/Simulación_con_el_Software_Arena).

LÓPEZ HERNÁNDEZ, S.. Grado en Ingeniería Mecánica Modelado y simulación en arena de sistemas de procesos continuos. Tesis en opción al título de ingeniero industrial. Valladolid, Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales, 2016.

LÓPEZ PALLARES, D. P. y FONTALVO MERCADO, L. M.. *Diseño de una propuesta de mejora para la reposición de inventarios a través de la simulación en la línea de vehículos livianos de una empresa distribuidora de autopartes*. Trabajo presentado para cumplir requisito al título Ingeniero Industrial. Barranquilla, Universidad de la costa, Facultad de ingenierías. Programa de Ingeniería Industrial, 2019.

SUCASAIRE PLACENCIA, H. E.. *Aplicación de simulación de sistemas con el software Arena para la mejora de la toma de decisiones en los servicios de ecografía de una clínica de Medical Images SAC en el distrito de Los Olivos en Lima Metropolitano*. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas de Investigación Operativa, 2016.