

## MODELADO Y SIMULACIÓN

### Solución al Ejercicio de Autoevaluación 1

#### PREGUNTA 1 (3 puntos)

Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento de un taller dedicado al ensamblaje y pintado de marcos para cuadros.

Los marcos llegan desmontados, en grupos de 4 o de 6 marcos. La probabilidad de que el grupo esté compuesto por 4 marcos es 0.6, mientras que la probabilidad de que esté compuesto por 6 marcos es 0.4. El tiempo que transcurre entre la llegada de dos grupos consecutivos de marcos está distribuido exponencialmente, con media 5 horas.

Los marcos desmontados se ponen en la cola FIFO del *proceso de ensamblaje*, que es realizado por 5 carpinteros. El ensamblaje consiste en repasar el corte de cada una de las piezas de madera y pegarlas entre sí. Los carpinteros trabajan independientemente los unos de los otros, procesando los marcos de principio a fin y de uno en uno. Se estima que el tiempo que emplea cualquiera de los carpinteros en ensamblar un marco está distribuido uniformemente entre 2 y 6 horas.

Una vez finalizado el ensamblaje de un marco, éste se lleva a un *almacén* en el cual permanecerá durante 24 horas. El propósito es permitir que el pegamento se seque completamente. Transcurridas estas 24 horas, el marco es puesto en la cola FIFO del *proceso de pintado*. El taller tiene una única máquina de pintura, que procesa los marcos de uno en uno. El tiempo que dura el proceso de pintado está distribuido uniformemente, con rango [10, 20] minutos.

Una vez pintado, el marco pasa un *proceso de inspección*. Se estima que el 90 % de los marcos superan con éxito la inspección y el resto deben ser retrabajados.

El *proceso de retrabajado* consiste en eliminar la pintura, de modo que el marco quede en condiciones de volver a ser pintado. El retrabajado se realiza en la

máquina de eliminar pintura, frente a la cual hay una cola con disciplina FIFO. La máquina de eliminar pintura procesa los marcos de uno en uno, estando el tiempo de proceso distribuido triangularmente con rango [30,40] minutos y moda 35 minutos. Una vez se ha eliminado la pintura del marco, éste es puesto de nuevo en cola de la máquina de pintura. El proceso de pintado al que se someten los marcos retrabajados, así como la posterior inspección, tienen las mismas características que los procesos a los que se someten los marcos que llegan del almacén.

Los marcos que superan la inspección se ponen en la cola FIFO del *proceso de embalaje*. Este proceso se realiza en una única máquina empaquetadora, que procesa los marcos de uno en uno. El tiempo de proceso está distribuido uniformemente, con rango [10, 15] minutos. Una vez ha sido embalado, el marco abandona el sistema.

Se realiza una simulación del sistema de 10000 horas de duración, con el fin de estimar la utilización de los recursos y el tiempo de ciclo. Por favor, conteste a las preguntas siguientes.

- 1.a (2 puntos) Describa *detalladamente* cómo realizaría el modelo del sistema anterior usando Arena. En particular, dibuje el diagrama de módulos e indique qué parámetros del comportamiento del sistema deben definirse en cada módulo.
- 1.b (1 punto) Suponga que cada 20 marcos procesados es preciso realizar un mantenimiento en la máquina de pintura para limpiarla y recargarla. El tiempo necesario para realizar el mantenimiento está distribuido triang(30, 45, 60) minutos. Describa detalladamente cómo modificaría el modelo en Arena para describir estos mantenimientos.

### Solución a la Pregunta 1

En la Figura 1.1 se muestra una posible manera de describir el funcionamiento del sistema. El proceso de llegada de marcos puede ser descrito tal como se muestra en la Figura 1.2.

Los procesos “Ensamblaje”, “Pintura”, “Embalaje” y “Eliminar pintura” son del tipo *Seize-Delay-Release*. El proceso “Secado” es del tipo *Delay*. Por ejemplo, en la Figura 1.3 se muestra la especificación de los procesos “Ensamblaje” y “Secado”.

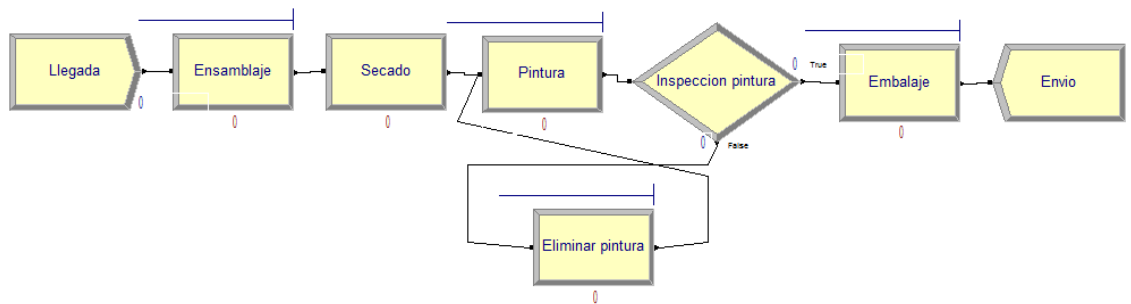


Figura 1.1: Diagrama de módulos.

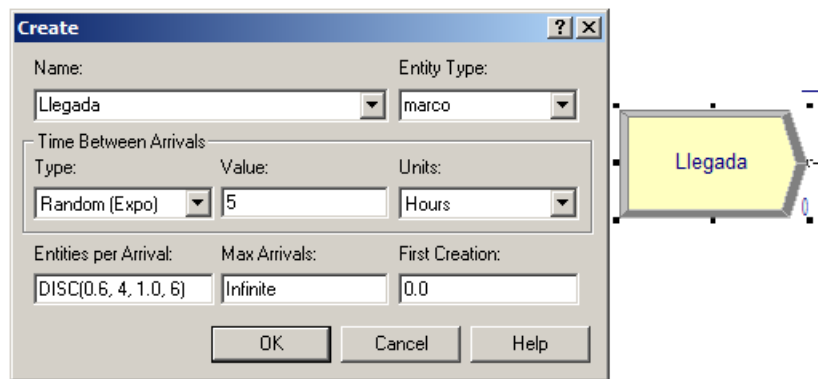


Figura 1.2: Módulo *Create* que describe la llegada de marcos.

En la Figura 1.4 se muestra un resumen de las características de los procesos. Dicha información se muestra al hacer clic sobre cualquiera de los bloques *Process* que componen el diagrama de módulos. Arena va completando automáticamente el contenido de esa tabla a medida que el usuario va añadiendo bloques *Process* al diagrama del modelo.

La capacidad de los recursos debe especificarse en el bloque de datos *Resource* (véase la Figura 1.6). En este modelo, la capacidad de todos los recursos es uno a excepción de “carpintero” (el recurso del proceso “Ensamblaje”), cuya capacidad es igual a cinco.

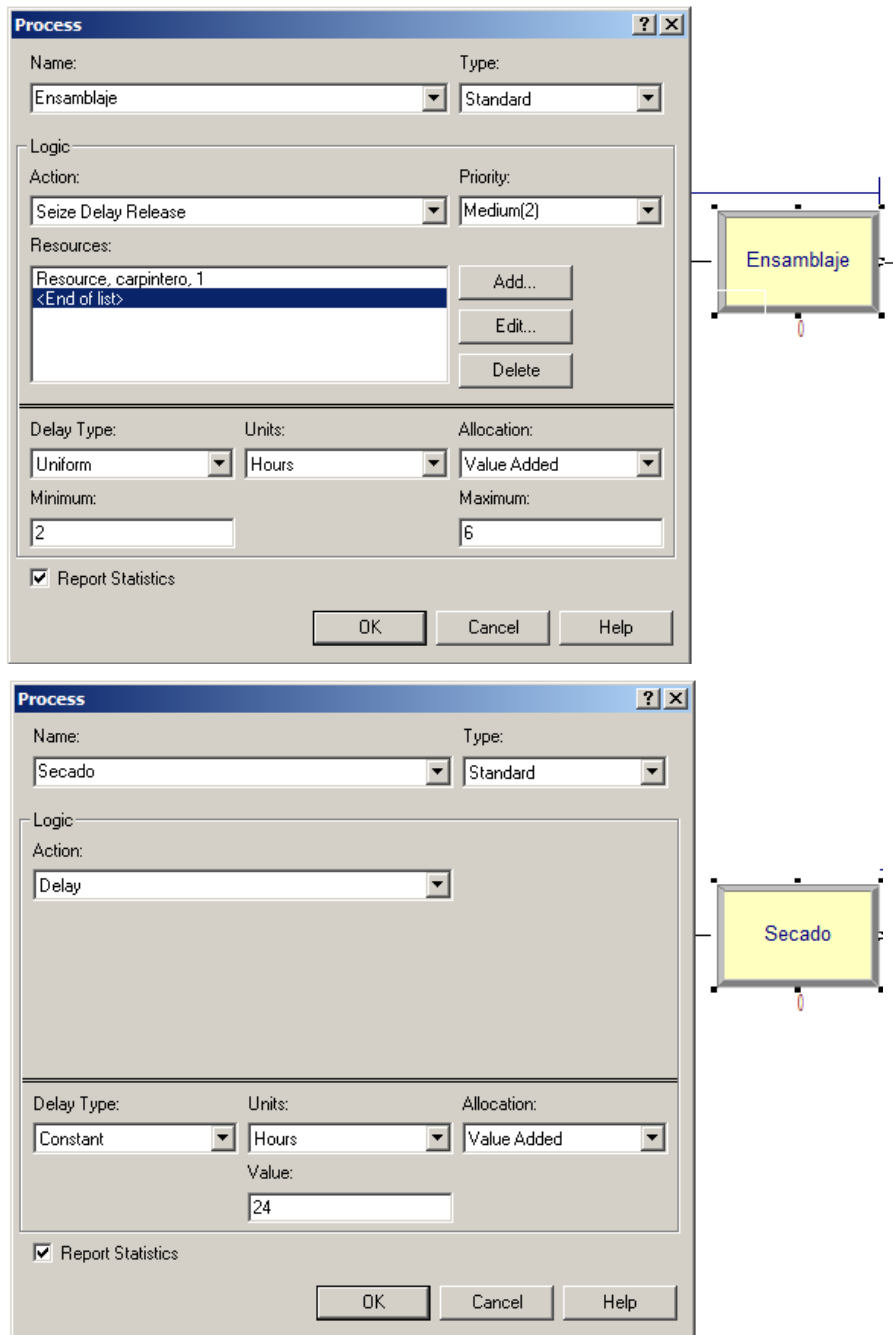


Figura 1.3: Procesos de ensamblaje y secado.

Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum
1	Ensamblaje	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Uniform	Hours	Value Added	2	1	6
2	Pintura	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	10	1	20
3	Embalaje	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	10	1	15
4	Eliminar pintura	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Minutes	Value Added	30	35	40
5	Secado	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Hours	Value Added	5	24	1.5

Figura 1.4: Características de los procesos.

Failure - Advanced Process					
	Name	Type	Count	Down Time	Down Time Units
1	MantenimientoMaqPintura	Count	20	TRIA(30,45,60)	Minutes

Figura 1.5: Tipo de fallo definido en el módulo *Failure*.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	State Set Name	Failures	Report Statistics
1	carpintero	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Limpiadora	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Empaquetadora	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	MaquinaPintura	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Failures		
	Failure Name	Failure Rule
1	MantenimientoMaqPintura	Ignore

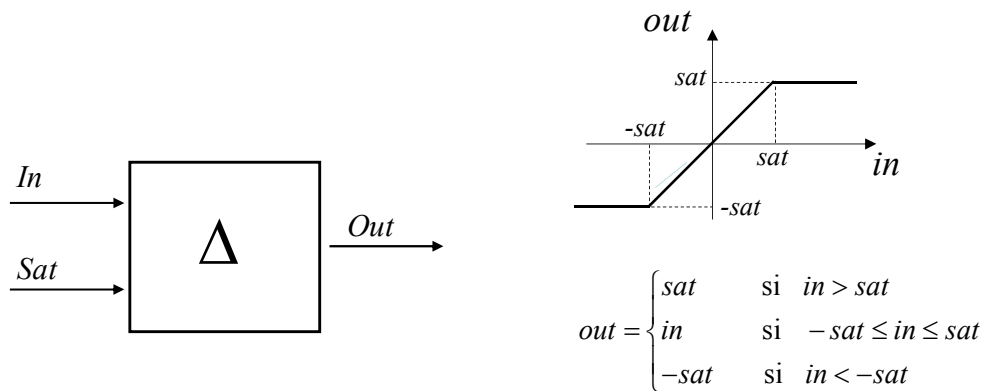
Double-click here to add a new row.

Figura 1.6: Definición de la capacidad de los recursos en el módulo de datos *Resource* y asociación del tipo de fallo *MantenimientoMaqPintura* con el recurso *MáquinaPintura*.

El modelado del mantenimiento en la máquina de pintura se realiza de la forma siguiente. Primeramente, se define el tipo de fallo en el módulo de datos *Failure*, que está en el panel *Advanced Process* (véase la Figura 1.5). A continuación, se asocia el tipo de fallo con el recurso. Esto se hace en el módulo de datos *Resource*, tal como se muestra en la Figura 1.6.

**PREGUNTA 2** (3 puntos)

Describa, empleando el formalismo DEVS clásico, el comportamiento del sistema descrito a continuación. El sistema tiene dos puertos de entrada (*In*, *Sat*) y un puerto de salida (*Out*). Véase la parte izquierda de la figura. Los eventos de entrada llegan al sistema de uno en uno. Los valores recibidos en el puerto *In* son números reales y los recibidos en el puerto *Sat* son reales positivos. El parámetro  $\Delta$  puede tomar valores reales positivos.



El sistema puede encontrarse en una de las dos fases siguientes: {"pasivo", "activo"}.

- Si el sistema está en la fase "pasivo" y llega un evento al puerto *In*, entonces pasa a la fase "activo". Si a partir de ese instante transcurre un tiempo  $\Delta$  sin que lleguen eventos al puerto *In*, entonces transcurrido ese intervalo de tiempo  $\Delta$  el sistema genera un evento de salida y pasa a la fase "pasivo".
- Si el sistema está en la fase "activo" y llega un evento al puerto *In*, entonces continúa en la fase "activo". Si durante las siguientes  $\Delta$  unidades de tiempo no llegan eventos al puerto *In*, entonces transcurrido un tiempo  $\Delta$  desde el último evento recibido en el puerto *In* se genera un evento de salida y el sistema pasa a la fase "pasivo".

El valor del evento de salida (*out*) se calcula tal como se muestra en la parte derecha de la figura, donde *sat* e *in* son los valores de los últimos eventos recibidos en los puertos *Sat* e *In*, respectivamente. Puede realizar las hipótesis adicionales que estime convenientes, siempre que éstas estén en consonancia con la descripción anterior del sistema.

## Solución a la Pregunta 2

La descripción DEVS clásico del sistema se muestra en la tabla siguiente. En las variables de estado *in* y *sat* se almacena el valor del último evento recibido en el puerto *In* y *Sat*, respectivamente.

Nombre del modelo	DEVS_saturación
Parámetros	$\Delta \in \mathbb{R}^+$ ;
$X$	$(In, \mathbb{R}), (Sat, \mathbb{R}^+)$
$Y$	$(Out, \mathbb{R})$
Variables de estado	fase $\in \{“pasivo”, “activo”\};$ $\sigma \in \mathbb{R}_{0,\infty}^+;$ $in \in \mathbb{R};$ $sat \in \mathbb{R}^+;$
$\delta_{int} : S \rightarrow S$	<b>return</b> (“pasivo”, $\infty$ , <i>in</i> , <i>sat</i> );
$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$	<b>if</b> ( <i>dato</i> ( <i>In</i> ) $\neq \emptyset$ ) { <b>return</b> (“activo”, $\Delta$ , <i>dato</i> ( <i>In</i> ), <i>sat</i> ); } <b>else</b> { <b>return</b> (fase, $\sigma - e$ , <i>in</i> , <i>dato</i> ( <i>Sat</i> )); } }
$\lambda : S \rightarrow Y$	<b>if</b> ( <i>in</i> > <i>sat</i> ) { <b>return</b> (Out, <i>sat</i> ); } <b>else if</b> ( - <i>sat</i> $\leq$ <i>in</i> $\leq$ <i>sat</i> ) { <b>return</b> (Out, <i>in</i> ); } <b>else</b> { <b>return</b> (Out, - <i>sat</i> ); } }
$ta : S \rightarrow \mathbb{R}_{0,\infty}^+$	<b>return</b> $\sigma$ ;

**PREGUNTA 3 (2 puntos)**

- 3.a) (1 punto) Explique qué son los generadores combinados de números pseudo aleatorios.
- 3.b) (1 punto) Ponga dos ejemplos de este tipo de generador.

**Solución a la Pregunta 3**

Véase la Sección 5.2.7 del texto base.

**PREGUNTA 4 (2 puntos)**

- 4.a) (1 punto) Explique en qué consiste un diseño experimental factorial completo y ponga un ejemplo que tenga 3 factores y 2 niveles por factor.
- 4.b) (1 punto) Explique en qué consiste un diseño experimental factorial fraccional y ponga un ejemplo de diseño factorial fraccional  $2^{3-1}$ .

**Solución a la Pregunta 4**

Véanse las Secciones 7.3 y 7.4, y el Problema 7.2 del texto base.