

# MODELADO Y SIMULACIÓN

Febrero de 2025 - Segunda semana

## PREGUNTA 1 (3 puntos)

Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento de una cadena de producción dedicada a la diagnosis de celdas de ion litio. El funcionamiento es descrito a continuación.

Las celdas se reciben de dos maneras independientes: individualmente y en cajas.

- El intervalo de tiempo que transcurre entre la recepción de dos celdas individuales está distribuido exponencialmente, con media 1 minuto.
- Se recibe una caja, que contiene 10 celdas, cada 15 minutos.

Las celdas son primeramente inspeccionadas. Cuando se recibe una caja, es inmediatamente abierta y las celdas que contiene son puestas en cola del proceso de inspección. Cuando se recibe una celda individual, es inmediatamente puesta en cola del proceso de inspección.

El proceso de inspección lo realiza una máquina, que inspecciona las celdas una a una. El tiempo que tarda la máquina en inspeccionar una celda es una observación independiente de una distribución uniforme, con rango  $[5, 10]$  segundos. Como resultado de la inspección, la maquina decide si la celda debe desecharse, enviarse a desbastado o enviarse a test eléctrico. Se estima que estas opciones suceden con probabilidad 0.15, 0.5 y 0.35 respectivamente. Las celdas desechadas abandonan el sistema. Las celdas que deben ser desbastadas se ponen en cola del proceso de desbastado. Las restantes se ponen en cola del proceso de test eléctrico.

El proceso de desbastado es realizado por 4 máquinas, que trabajan independientemente entre sí y frente a las cuales se forma una única cola FIFO. El tiempo necesario para desbastar una celda está distribuido de manera normal, con media

60 segundos y desviación estándar 5 segundos. Una vez la celda ha sido desbastada, es puesta en cola del proceso de test eléctrico.

El test eléctrico es realizado por 15 máquinas, que trabajan independientemente entre sí. Frente a las máquinas se forma una única cola FIFO, en la que esperan indistintamente las celdas enviadas de inspección y de desbastado. El tiempo necesario para realizar el test eléctrico a una celda es una observación independiente de una distribución triangular con rango  $[10, 30]$  minutos y valor más probable 25 minutos.

En función de su comportamiento en el test eléctrico, cada celda es clasificada como buena o mala. Las celdas malas abandonan inmediatamente el sistema. Las celdas buenas son puestas en cola del proceso de etiquetado. Se estima que la probabilidad de que la celda sea mala es 0.1 si ha llegado al sistema individualmente y 0.4 si ha llegado metida en una caja.

El proceso de etiquetado tiene una capacidad que podemos considerar infinita, por lo que la celda clasificada como buena comienza inmediatamente su proceso de etiquetado. El tiempo de etiquetado de cada celda es una observación independiente de una distribución uniforme con rango  $[1, 2]$  minutos. Cuando finaliza su etiquetado, la celda abandona el sistema.

Se desea simular el funcionamiento ininterrumpido del sistema durante 30 días. 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.

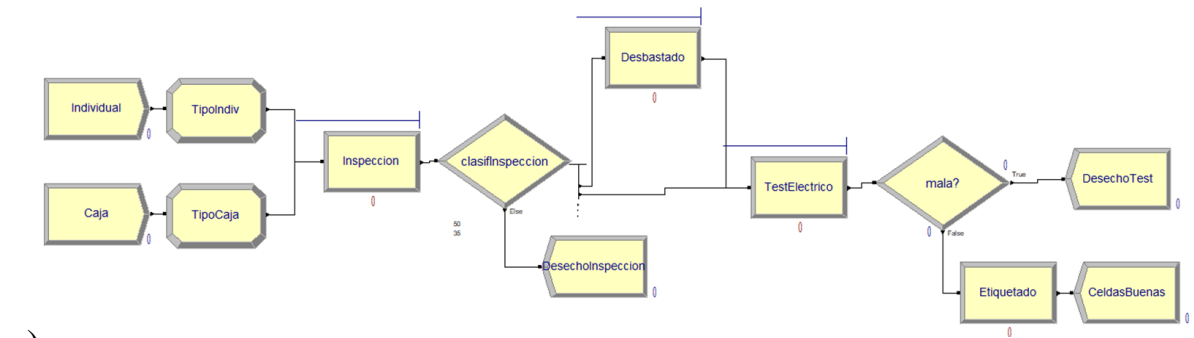
## Solución a la Pregunta 1

En la Figura 1.1.a se muestra el diagrama de módulos del modelo, que ha sido compuesto usando bloques del panel *Basic Process*, y en la Figura 1.1.b se muestra la descripción de los dos procesos de llegada de las celdas de ion litio. Tal como puede verse en la Figura 1.1.c, se asocia a las entidades un atributo llamado *esIndividual*. El valor del atributo es 1 si la celda ha llegado individualmente y 0 si ha llegado metida en una caja. En el módulo de decisión llamado “mala?” se hará uso de este atributo.

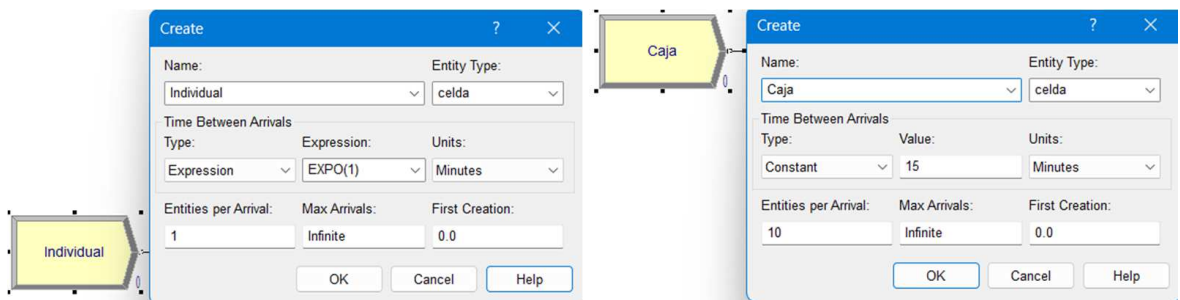
En las Figuras 1.2.a – 1.2.c se muestran los módulos que describen el proceso de inspección, el bloque de bifurcación que describe el resultado de la inspección y el bloque que describe el proceso de desbastado.

En las Figuras 1.3.a – 1.3.c se muestra el bloque que describe el proceso de test eléctrico, el bloque de decisión que describe el resultado del test y el bloque que describe el proceso de etiquetado.

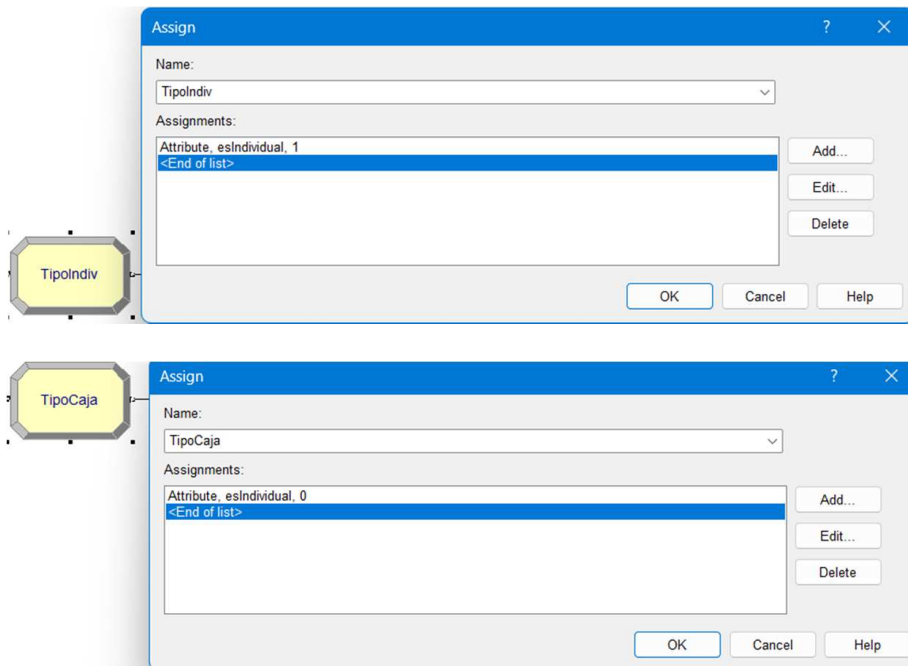
Finalmente, en la Figura 1.4 se muestran los módulos de datos de las entidades, los recursos y los atributos.



a)

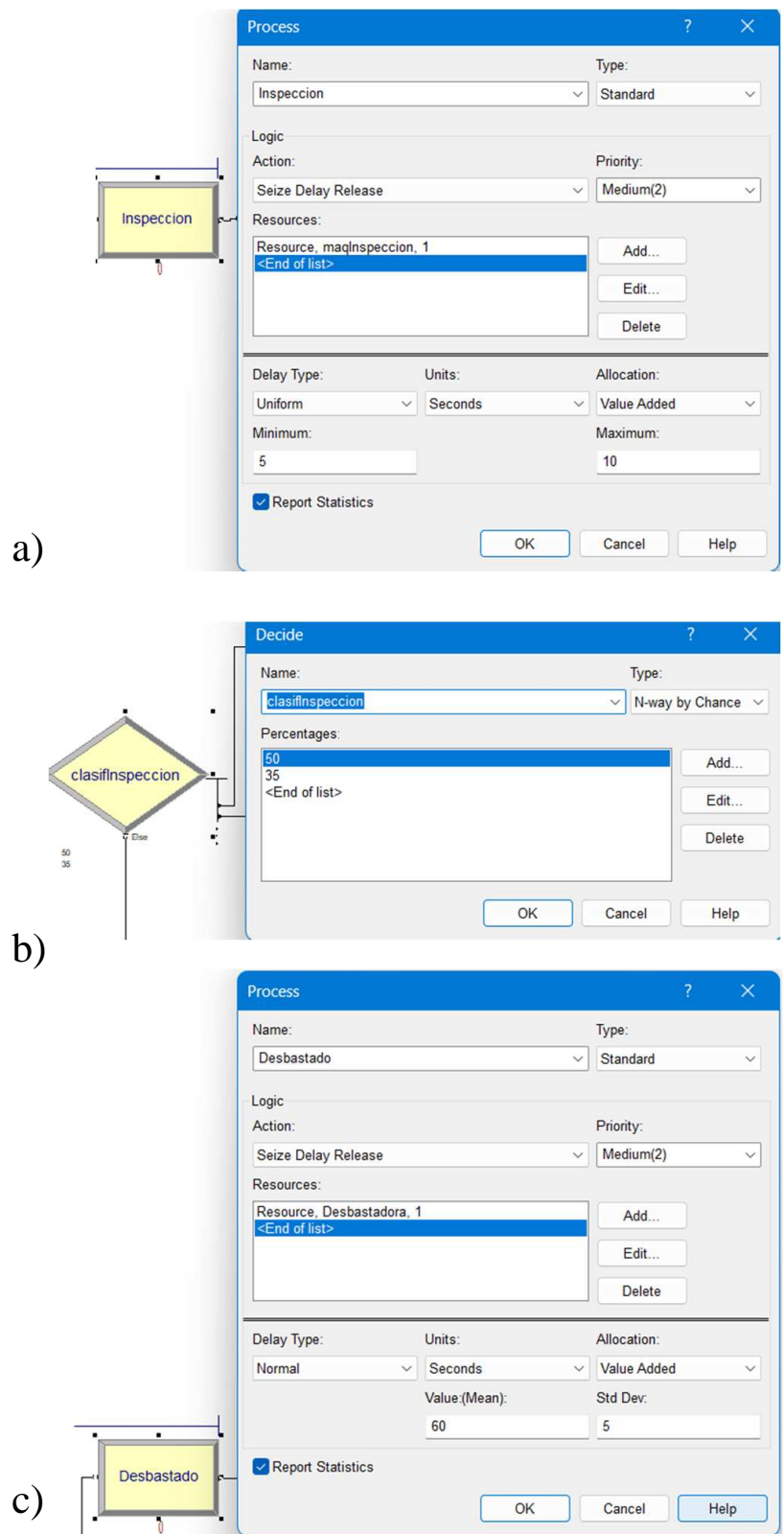


b)

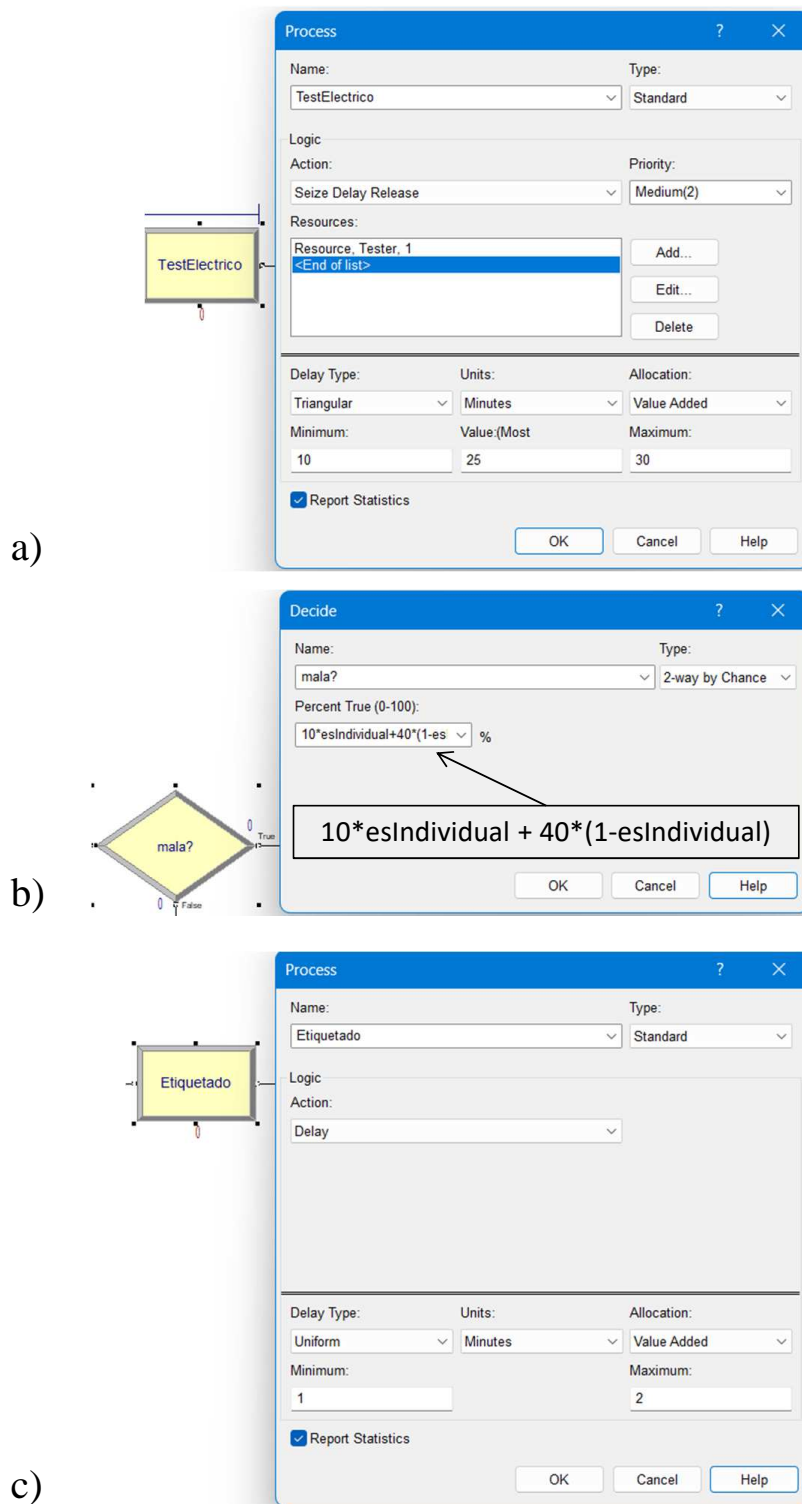


c)

**Figura 1.1:** a) Diagrama de módulos del sistema; b) módulos que describen los procesos de llegada de las celdas de ion litio; y c) módulos que asignan el atributo *esIndividual* a las entidades.



**Figura 1.2:** a) Proceso de inspección; b) bloque de decisión que describe el resultado de la inspección; y c) proceso de desbastado.



**Figura 1.3:** a) Proceso de test eléctrico; b) bloque de decisión que describe el resultado del test; y c) proceso de etiquetado.

	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	celda	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	maqInspeccion	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Desbastadora	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Tester	Fixed Capacity	15	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1	esIndividual				Real	0 rows

Double-click here to add a new row.

**Figura 1.4:** Módulos de entidades (arriba), de recursos (en medio) y de atributos (abajo).

## PREGUNTA 2 (3 puntos)

Empleando el formalismo DEVS clásico, describa el siguiente modelo de la acción del proceso de inspección de la cadena de producción descrita en la Pregunta 1.

La interfaz del modelo está compuesta por un puerto de entrada (In) y tres puertos de salida (Desbastado, Test, Desecho). En el puerto de entrada se reciben números naturales, cada uno de los cuales identifica de manera unívoca una celda.

El sistema puede encontrarse en dos fases: *libre* y *ocupado*.

- Si estando en la fase *libre* recibe un evento en el puerto de entrada, pasa a la fase *ocupado* y almacena en una variable de estado el valor recibido. Espera durante un periodo de tiempo, cuya duración es una observación independiente de una distribución de probabilidad uniforme con rango  $[5, 10]$  segundos, y seguidamente envía el valor recibido a través de uno de los puertos de salida: con probabilidad 0.15 a través del puerto Desecho, con probabilidad 0.5 a través del puerto Desbastado y con probabilidad 0.35 a través del puerto Test. A continuación, pasa a la fase *libre*.
- Mientras está en la fase *ocupado*, ignora los eventos de entrada.

Puede realizar todas las hipótesis adicionales que desee acerca del funcionamiento del modelo, siempre y cuando no estén en contradicción con las especificaciones anteriores.

## Solución a la Pregunta 2

La descripción DEVS clásico del sistema se muestra en la Tabla 1.1. El estado del sistema puede definirse mediante las variables de estado siguientes: (*fase*,  $\sigma$ , *idCelda*).

- La variable *fase* tomar los valores siguientes: {“libre”, “ocupado”}.
- La variable  $\sigma$  almacena el tiempo que transcurrirá hasta la siguiente transición interna en ausencia de eventos externos. Puede tomar valores reales positivos, incluido el cero.

- La variable  $idCelda$  almacena el identificador de la celda de ion litio que se encuentra en el sistema o el valor cero si el sistema se encuentra libre.

El estado inicial del sistema es: (“libre”,  $\infty$ , 0).

**Tabla 1.1:** Modelo DEVS clásico de la Pregunta 2.

Nombre del modelo	Ejercicio_2
Parámetros	
$X$	( In, $\mathbb{N} - \{0\}$ )
$Y$	( Desbastado, $\mathbb{N} - \{0\}$ ) ( Test, $\mathbb{N} - \{0\}$ ) ( Desecho, $\mathbb{N} - \{0\}$ )
Variables de estado	$fase \in \{“libre”, “ocupado”\};$ $\sigma \in \mathbb{R}_{0,\infty}^+;$ $idCelda \in \mathbb{N};$
$\delta_{int} : S \rightarrow S$	<b>return</b> ( “libre”, $\infty$ , 0 );
$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$	<b>if</b> ( fase == “libre” ) { $\tau =$ observación U(5,10); <b>return</b> ( “ocupado”, $\tau$ , dato(In) ); } <b>else</b> { <b>return</b> ( “ocupado”, $\sigma - e$ , $idCelda$ ); }
$\lambda : S \rightarrow Y$	$r1 =$ observación U(0,1); <b>if</b> ( $r1 < 0.5$ ) { <b>return</b> ( Desbastado, $idCelda$ ); } <b>elseif</b> ( $r1 < 0.85$ ) { <b>return</b> ( Test, $idCelda$ ); } <b>else</b> { <b>return</b> ( Desecho, $idCelda$ ); }
$ta : S \rightarrow \mathbb{R}_{0,\infty}^+$	<b>return</b> $\sigma$ ;

**PREGUNTA 3** (2 puntos)

- 3.a** (1 punto) ¿Cómo se construye una función de probabilidad acumulada empírica a partir de un conjunto  $x_1, \dots, x_n$  de observaciones independientes de una variable aleatoria  $X$ ?
- 3.b** (1 punto) ¿Cómo se compara la función de probabilidad acumulada empírica de un conjunto de datos experimentales con una distribución teórica, empleando una gráfica cuantil-cuantil?

**Solución a la Pregunta 3**

Véanse las Secciones 4.3.2 y 4.5.4 del texto base.

**PREGUNTA 4** (2 puntos)

- 4.a** (1 punto) Explique en qué consiste el método de la transformación inversa para generar observaciones de una variable aleatoria continua. Ponga un ejemplo.
- 4.b** (1 punto) Explique en qué consiste el método de la transformación inversa para generar observaciones de una variable aleatoria discreta. Ponga un ejemplo.

**Solución a la Pregunta 4**

Véase la Sección 5.4.1 del texto base.