

MODELADO Y SIMULACIÓN

Febrero de 2023 - Primera semana

PREGUNTA 1 (3 puntos)

Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento del área médica de la Unidad de Urgencias de un hospital. Dicho área médica está compuesta por:

- *Zona de triaje*, donde se realiza la recepción asistencial, clasificación y atención inmediata de los pacientes.
- Las *Consultas*, para pacientes que pueden ser atendidos de forma ambulante.
- Los *Boxes de Enfermería*, donde se realizan pruebas y extracciones analíticas.
- Los *Boxes de Exploración*, en los que se atiende a los pacientes que necesitan permanecer tumbados en camilla.

Se supone que los pacientes llegan de uno en uno a la Unidad de Urgencias. La llegada de pacientes se produce de dos maneras distintas, que son independientes entre sí.

1. *Los pacientes llegan a la Unidad de Urgencias por sus propios medios*. El tiempo que transcurre entre la llegada de dos pacientes está distribuido exponencialmente, con media 10 minutos.
2. *Los pacientes llegan en ambulancia*. El tiempo que transcurre entre la llegada de dos pacientes está distribuido exponencialmente, con media 30 minutos.

Cuando un paciente llega a la Unidad de Urgencias, primeramente es atendido por un médico en la zona de triaje, quien determina dónde recibirá tratamiento ese paciente: en consulta, en box de enfermería o en box de exploración.

En la zona de triaje se forma una única cola, cuya disciplina es FIFO.

Los médicos que atienden la zona de triaje trabajan en turnos de 8 horas. En cada turno trabajan 3 médicos, cada uno de los cuales realiza 3 descansos de 30 minutos a lo largo del turno, tal como se muestra en la tabla siguiente, en la cual se ha señalado mediante aspas el periodo de descanso asignado a cada uno de los tres médicos. Cada aspa representa 15 minutos.

Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5	Hora 6	Hora 7	Hora 8
	X X		X X		X X		
		X X		X X		X X	
		X X		X X		X X	

Los periodos de descanso asignados al primer médico son los últimos 30 minutos de la segunda, la cuarta y la sexta hora del turno. Los periodos de descanso asignados al segundo médico son los primeros 30 minutos de la tercera, la quinta y la séptima hora del turno. Los asignados al tercer médico son los últimos 30 minutos de la tercera, la quinta y la séptima hora del turno.

Cada médico de la zona de triaje trabaja independientemente, atendiendo pacientes de uno en uno. El tiempo necesario para evaluar a un paciente está distribuido de forma normal, con media 20 minutos y desviación estándar 5 minutos. Si en el instante en que debe comenzar un descanso el médico está ocupado atendido un paciente, primero finaliza de atender al paciente y a continuación inicia el descanso, cuya duración es siempre de 30 minutos.

Se supone que los pacientes deben ser tratados en consulta, box de enfermería o box de exploración con probabilidad 0.6, 0.3 y 0.1 respectivamente.

En la Unidad de Urgencias hay 2 consultas, que funcionan ininterrumpidamente e independientemente la una de la otra. Frente a ellas se forma una única cola con disciplina FIFO. El paciente es atendido en una cualquiera de ellas. El tiempo necesario para atender un paciente en consulta está distribuido triangularmente, con rango [10, 20] minutos y moda 15 minutos.

En la Unidad de Urgencias hay 3 boxes de enfermería y 2 boxes de exploración, que funcionan ininterrumpidamente e independientemente entre sí. Frente a cada tipo de box se forma una cola con disciplina FIFO.

El tiempo necesario para atender un paciente en un box de enfermería está distribuido uniformemente, con rango [10, 20] minutos.

El tiempo necesario para atender un paciente en un box de exploración está distribuido de forma normal, con media 60 minutos y desviación estándar 10 minutos.

Una vez ha sido atendido en una consulta o en uno de los boxes, el paciente abandona la Unidad de Urgencias.

El objetivo del estudio es analizar el tiempo medio de espera en cada una de las colas, de manera que pueda evaluarse si la capacidad de los recursos es adecuada. Para ello, se realizan 200 réplicas independientes del funcionamiento del sistema durante 24 horas. En todas las réplicas, el sistema está inicialmente vacío.

Describe *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.

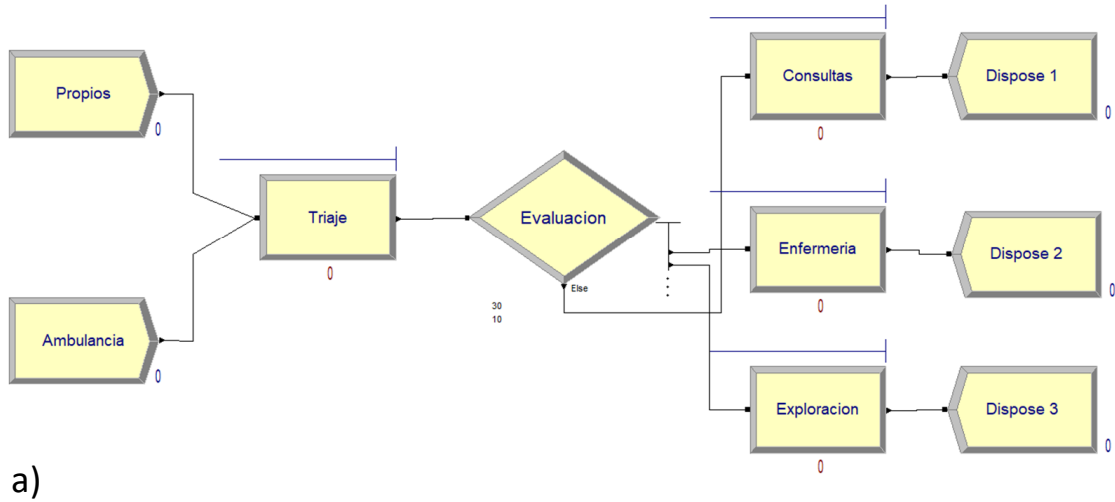
Solución a la Pregunta 1

En la Figura 1.1.a se muestra el diagrama de módulos del modelo y en la Figura 1.1.b los dos procesos de llegada de pacientes. En el modelo hay una sola clase de entidad, denominada *paciente*.

En las Figuras 1.2.a), 1.2.c, 1.3.a y 1.3.b se muestran los módulos que describen los cuatro procesos del sistema. El bloque de bifurcación de entidades se muestra en la Figura 1.2.b.

La capacidad de los recursos se especifica en el módulo de datos *Resource* del panel *Basic Process*, tal como puede verse en la Figura 1.4. En el módulo de datos *Schedule* del panel *Basic Process* se definen las planificaciones de la capacidad, tal como se muestra en la Figura 1.5.

En la Figura 1.6 puede verse la definición del experimento.



a)

This is a screenshot of the 'Create' dialog box for the 'Propios' module. The 'Name' field is set to 'Propios' and the 'Entity Type' is 'paciente'. Under 'Time Between Arrivals', the 'Type' is 'Expression' and the 'Expression' is 'EXPO(10)', with 'Minutes' selected as the unit. The 'Entities per Arrival' is set to 1, 'Max Arrivals' is 'Infinite', and 'First Creation' is 0.0. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are visible at the bottom.

This is a screenshot of the 'Create' dialog box for the 'Ambulancia' module. The 'Name' field is set to 'Ambulancia' and the 'Entity Type' is 'paciente'. Under 'Time Between Arrivals', the 'Type' is 'Expression' and the 'Expression' is 'EXPO(30)', with 'Minutes' selected as the unit. The 'Entities per Arrival' is set to 1, 'Max Arrivals' is 'Infinite', and 'First Creation' is 0.0. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are visible at the bottom.

b)

Figura 1.1: a) Diagrama de módulos del sistema. b) Módulos que describen el proceso de llegada de pacientes.

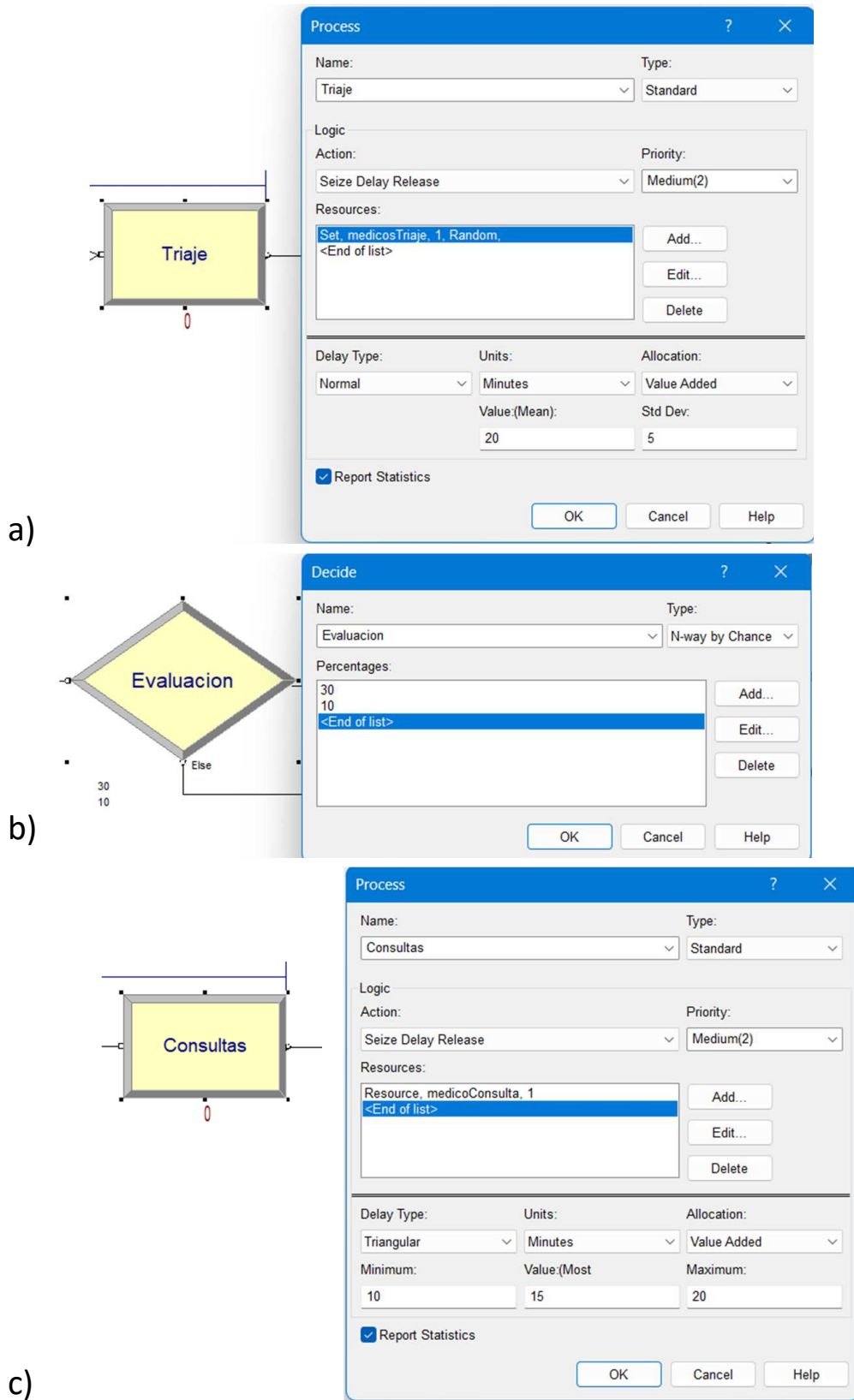


Figura 1.2: a) Proceso de triaje. b) Módulo de decisión. c) Proceso de consultas.

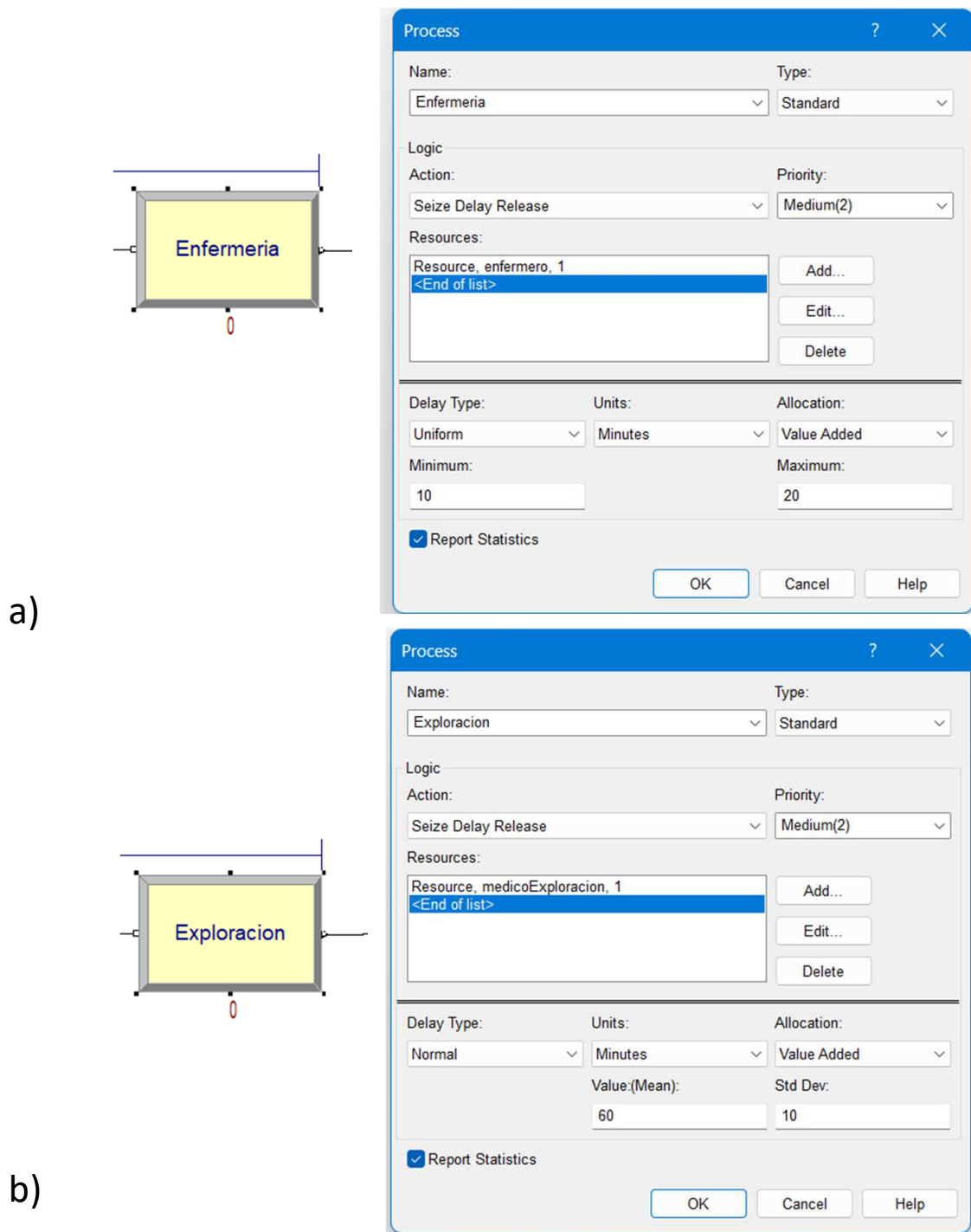


Figura 1.3: a) Proceso de enfermería. b) Proceso de exploración.

	Name	Type	Capacity	Schedule N...	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateS...	Failures	Report Statistics
1	medicoConsulta	Fixed Capacity	2	2	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	enfermero	Fixed Capacity	3	3	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	medicoExploracion	Fixed Capacity	2	2	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	medicoTriaje1	Based on Schedule	turnoTriaje1	turnoTriaje1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	medicoTriaje2	Based on Schedule	turnoTriaje2	turnoTriaje2	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	medicoTriaje3	Based on Schedule	turnoTriaje3	turnoTriaje3	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 1.4: Capacidad de los recursos, definida en el módulo de datos *Resource* del panel *Basic Process*.

The diagram illustrates the configuration of capacity planning. A central table in the *Schedule* module is linked to three *Durations* pop-up windows. The central table lists resources and their associated durations:

Name	Type	Time Units	Scale Factor	File Name	Durations
turnoTriaje1	Capacity	Halfhours	1.0		7 rows
turnoTriaje2	Capacity	Halfhours	1.0		7 rows
turnoTriaje3	Capacity	Halfhours	1.0		7 rows

The three *Durations* windows show the following data:

- Top Window:**

Value	Duration
1	3
2	1
3	3
4	1
5	3
6	1
7	4
- Middle Window:**

Value	Duration
1	4
2	1
3	3
4	1
5	3
6	1
7	3
- Bottom Window:**

Value	Duration
1	5
2	1
3	3
4	1
5	3
6	1
7	2

Figura 1.5: Planificación de la capacidad, definida en el módulo de datos módulo de datos *Schedule* del panel *Basic Process*.

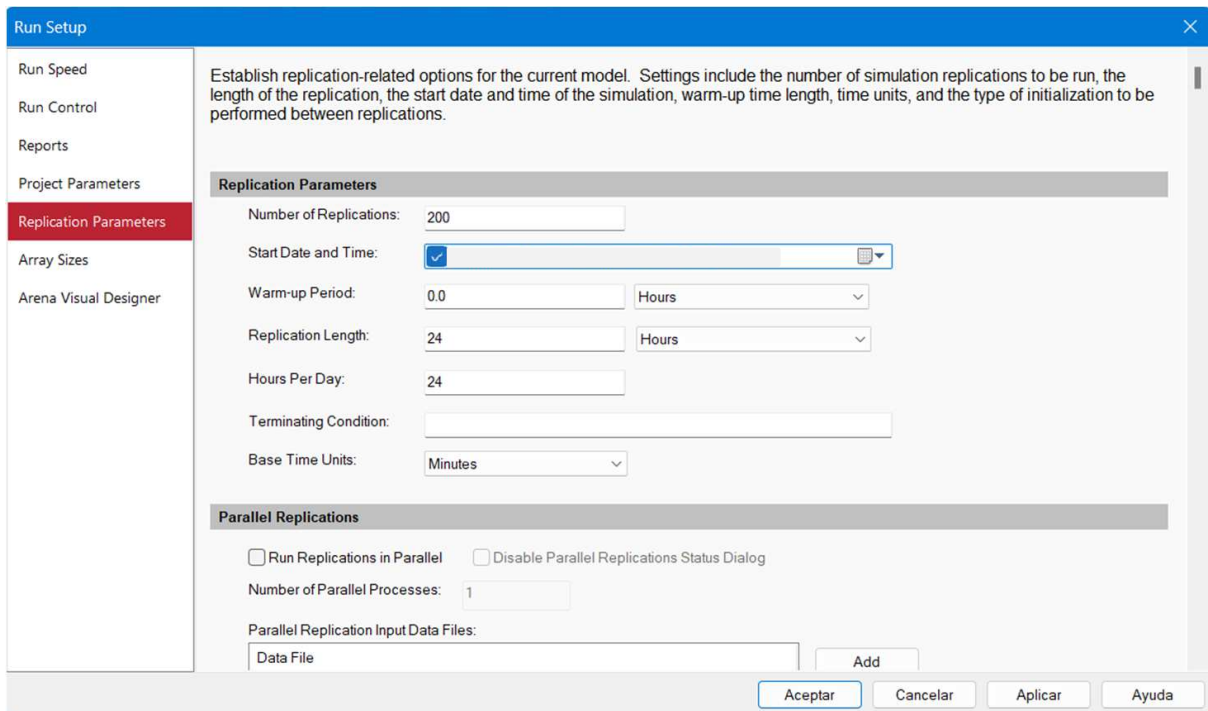


Figura 1.6: Configuración del experimento.

PREGUNTA 2 (3 puntos)

Describa mediante un modelo atómico DEVS clásico el comportamiento simplificado, que es descrito a continuación, de uno de los médicos que trabaja en la zona de triaje.

El modelo tiene un puerto de entrada (Pacientes) y tres puertos de salida (Consultas, Enfermería, Exploración). Al puerto Pacientes llegan valores naturales mayores que cero, cada uno de los cuales representa de manera unívoca un paciente.

El médico puede encontrarse “libre” u “ocupado” (atendiendo a un paciente).

Si se produce la llegada de un paciente mientras el médico está “libre”, éste pasa a estar “ocupado”, permaneciendo de este estado durante un tiempo aleatorio distribuido de forma normal, con media 20 minutos y desviación estándar 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se envía el valor entero que representa al paciente a través de uno de los tres puertos de salida (Consultas, Enfermería, Exploración) con probabilidad 0.6, 0.3 y 0.1 respectivamente, pasando el médico al estado “libre”.

Mientras el médico está en el estado “ocupado”, se ignoran los eventos recibidos en el puerto Pacientes.

Puede realizar las hipótesis adicionales sobre el funcionamiento del sistema que estime conveniente, siempre que no estén en contradicción que 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*, σ , *idPaciente*). El significado de estas variables se explica a continuación.

- La variable *fase* tomar los valores siguientes: {“libre”, “ocupado”}.
- La variable σ 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 *idPaciente* almacena el identificador del paciente que está siendo atendido o el valor cero si el médico se encuentra libre.

El estado inicial del sistema es (“libre”, ∞ , 0).

Tabla 1.1: Modelo DEVS clásico de la Pregunta 2.

Nombre del modelo	Ejercicio_2
Parámetros	
X	(Pacientes, $\mathbb{N} - \{0\}$)
Y	(Consultas, $\mathbb{N} - \{0\}$) (Enfermería, $\mathbb{N} - \{0\}$) (Exploración, $\mathbb{N} - \{0\}$)
Variables de estado	$fase \in \{ \text{“libre”, “ocupado”} \};$ $\sigma \in \mathbb{R}_{0,\infty}^+;$ $idPaciente \in \mathbb{N};$
$\delta_{int} : S \rightarrow S$	return (“libre”, ∞ , 0);
$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$	if (fase == “libre”) { $\tau =$ observación $N(20,5);$ return (“ocupado”, τ , dato(Pacientes)); } else { return (“ocupado”, $\sigma - e$, $idPaciente$); }
$\lambda : S \rightarrow Y$	$r =$ observación $U(0,1);$ if ($r < 0.6$) { return (Consultas, $idPaciente$); } elseif ($r < 0.9$) { return (Enfermería, $idPaciente$); } else { return (Exploración, $idPaciente$); }
$ta : S \rightarrow \mathbb{R}_{0,\infty}^+$	return $\sigma;$

PREGUNTA 3 (2 puntos)

Conteste las dos preguntas siguientes:

- 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 un *diseño experimental factorial completo* y ponga un ejemplo, basándose en el sistema descrito en la Pregunta 1, 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} basándose en el sistema descrito en la Pregunta 1.

Solución a la Pregunta 4

Véanse las Secciones 7.3 y 7.4 del texto base.