

MODELADO Y SIMULACIÓN

Febrero de 2018 - Primera semana

PREGUNTA 1 (3 puntos)

Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento de un Centro de Atención Telefónica (CAT), en el cual se atienden llamadas relacionadas con el cobro de facturas. El funcionamiento del sistema se describe a continuación.

Las llamadas se reciben de una en una. Se supone que el tiempo que transcurre entre la recepción de dos llamadas consecutivas está distribuido exponencialmente, con media un minuto.

Los agentes (teleoperadores) que trabajan en el CAT se clasifican en las tres categorías siguientes:

Tipo A. Son agentes experimentados, capaces de responder a cuestiones complejas.

Tipo B. Estos agentes sólo se dedican a tramitar el cobro mediante tarjeta de crédito.

Tipo C. Son agentes que llevan poco tiempo en el CAT. Su función es recibir las llamadas y en función de lo que les solicite el cliente:

- Remiten la llamada a un agente del Tipo B, si el cliente llama para realizar el pago mediante tarjeta.
- Remiten la llamada a un agente del Tipo A, si la cuestión planteada es compleja.
- Atienden ellos mismos completamente la llamada, si se ven capacitados para ello.

Así pues, cuando llega al sistema una nueva llamada, ésta es atendida por un agente del Tipo C. Si no hay agentes de ese tipo disponibles, las llamadas se ponen en una única cola con disciplina FIFO.

El tiempo que tarda el agente del Tipo C en decidir si transfiere la llamada está distribuido uniformemente entre 20 y 40 segundos.

La probabilidad de que deba transferir la llamada a un agente del Tipo A es 0.15, a un agente del Tipo B es 0.35 y la probabilidad de que pueda atender por sí mismo la llamada, sin necesidad de transferirla, es 0.5.

Si el agente del Tipo C transfiere la llamada, entonces queda libre y puede atender una nueva llamada. Si no transfiere la llamada, entonces él mismo resuelve la cuestión planteada por el cliente, para lo cual precisa un tiempo adicional, que está distribuido triangularmente, con rango $[1, 3]$ minutos y moda 2 minutos. Transcurrido este tiempo, la llamada abandona el sistema y el agente queda libre, pudiendo atender una nueva llamada.

Las llamadas transferidas a los agentes del Tipo A esperan en una cola FIFO a que alguno de los agentes de este tipo quede libre. El tiempo que tarda un agente del Tipo A en atender una llamada está distribuido de manera normal, con media 15 minutos y desviación estándar 3 minutos. Transcurrido este tiempo, la llamada abandona el sistema y el agente queda libre.

Análogamente, las llamadas transferidas a los agentes del Tipo B esperan en una cola FIFO a que alguno de los agentes de este tipo quede libre. El tiempo que tarda un agente del Tipo B en atender una llamada está distribuido de manera triangular, con rango $[3, 5]$ minutos y moda 4 minutos. Transcurrido este tiempo, la llamada abandona el sistema y el agente queda libre.

Hay seis agentes trabajando en el CAT: dos agentes del Tipo A, dos del Tipo B y dos del Tipo C.

El objetivo del estudio es analizar el tiempo medio de espera de las llamadas en cada una de las colas, de manera que pueda evaluarse si el número de agentes de cada tipo es adecuado. Para ello, se realizan 200 réplicas independientes del funcionamiento del sistema durante 2 horas, que corresponde con el intervalo de tiempo durante el cual se produce una mayor afluencia de llamadas. Se supone en todas las réplicas que el sistema está inicialmente vacío.

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 se muestra el diagrama de módulos del sistema y en la Figura 1.2 el proceso de llegada de llamadas.

El proceso de recepción de las nuevas llamadas por parte de los agentes de Tipo C es descrito mediante un módulo *Process*, como se muestra en la Figura 1.3. La acción es *Seize-Delay*. Por tanto, la entidad abandona el módulo con una unidad del recurso capturada.

La transferencia de la llamada puede describirse mediante un bloque *Decide* y bloques *Process*, tal como puede verse en las Figuras 1.4 y 1.5. En estos últimos la entidad libera el agente de Tipo C, lo cual es descrito como una acción *Delay-Release* con un retardo (*Delay*) de cero segundos.

Las consultas sencillas son completamente atendidas por los agentes de Tipo C, lo cual es descrito mediante un módulo *Process* (véase la Figura 1.6). En la Figura 1.7 se muestra el proceso de atención realizado por los agentes del Tipo A. Análogamente se describe la atención por parte de los agentes del Tipo B.

La capacidad de los recursos se especifica en el módulo de datos *Resource* del panel *BasicProcess*, tal como puede verse en la Figura 1.8.

En la Figura 1.9 puede verse la definición del experimento.

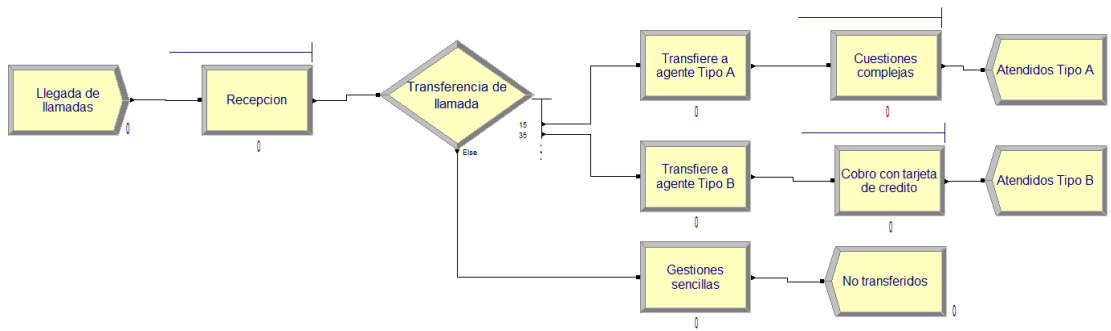


Figura 1.1: Diagrama de módulos del sistema.

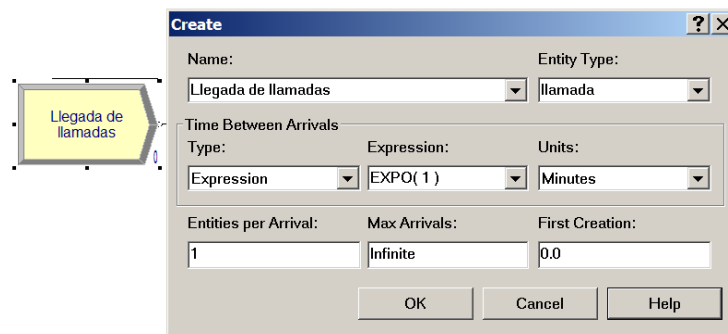


Figura 1.2: Módulo *Create* que describe el proceso de llegada de llamadas.

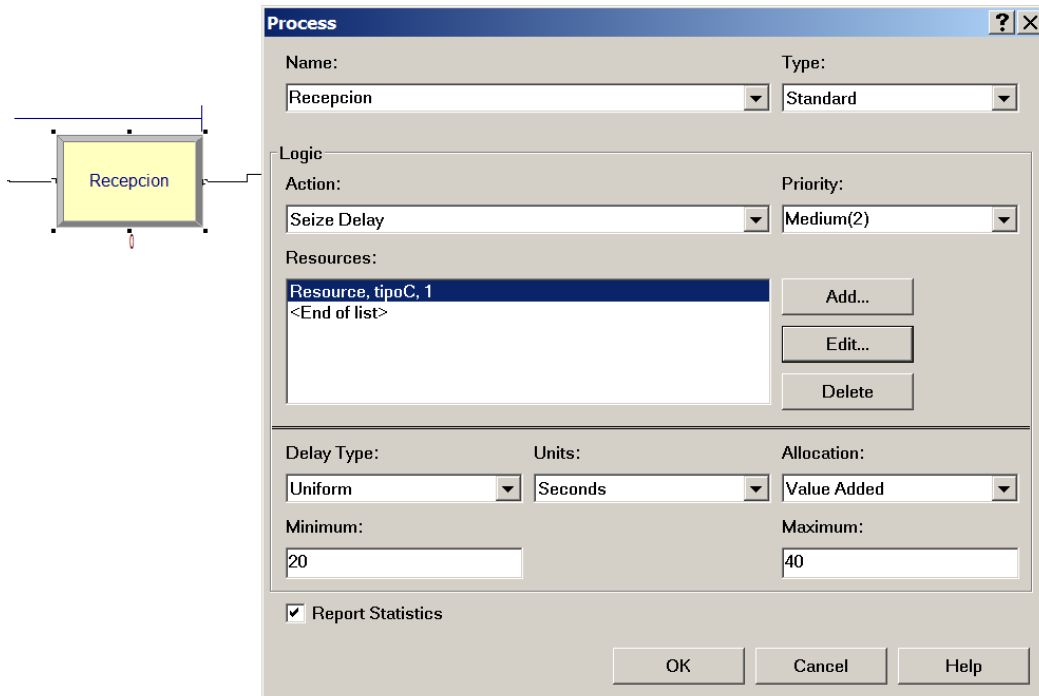


Figura 1.3: Recepción de nuevas llamadas por agentes de Tipo C.

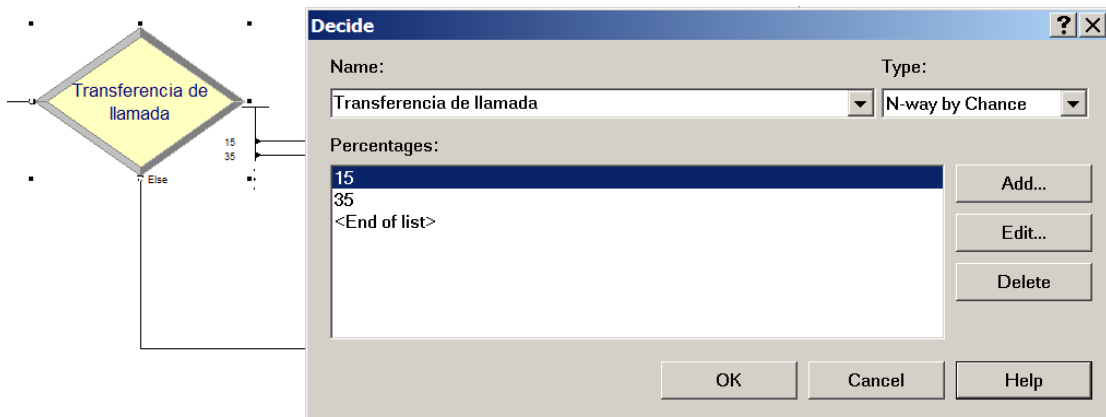


Figura 1.4: Transferencia de la llamada.

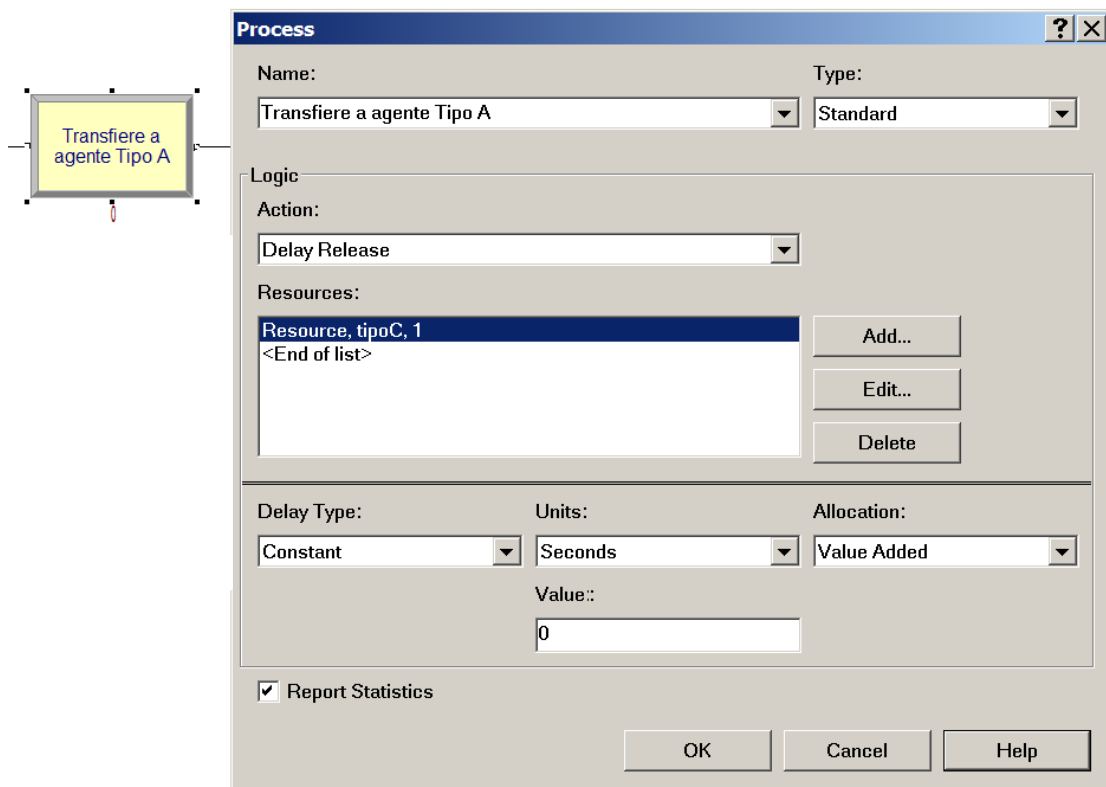


Figura 1.5: El agente Tipo C es liberado.

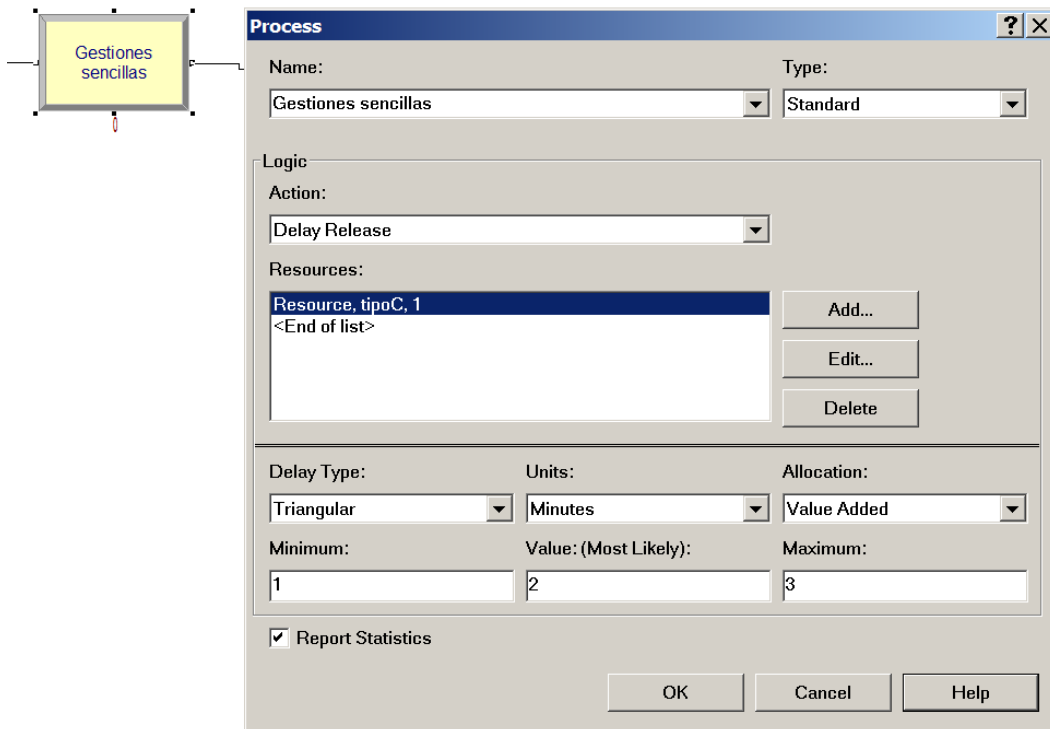


Figura 1.6: Llamada sencilla, atendida por agente Tipo C.

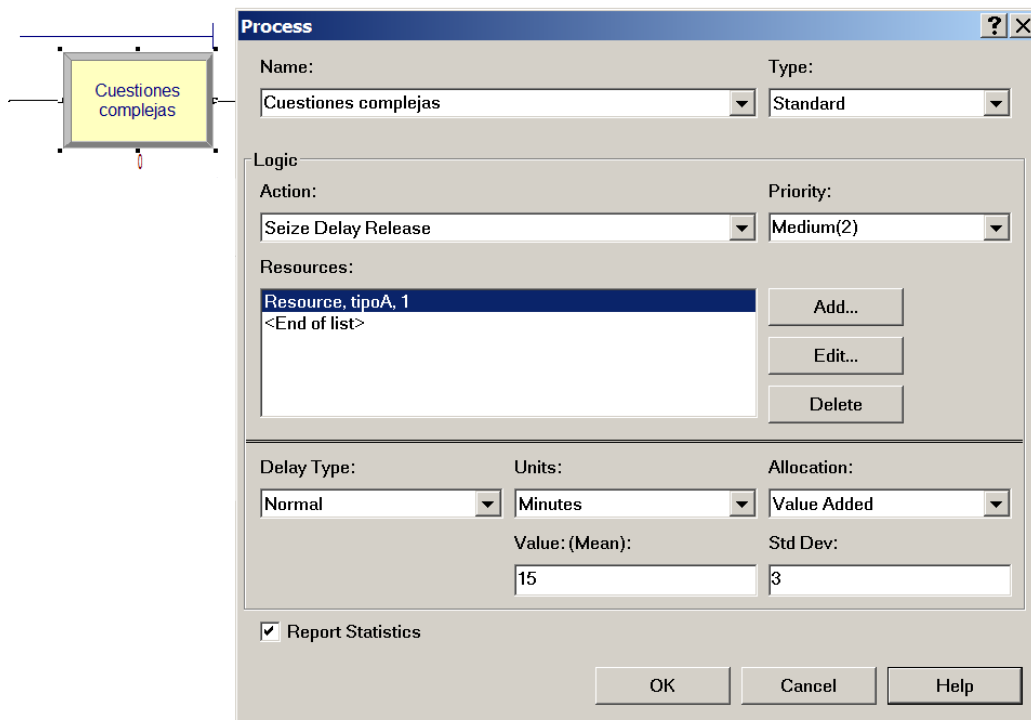


Figura 1.7: Atención al cliente por los agentes del Tipo A.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	tipoC	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	tipoB	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	tipoA	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 1.8: Declaración de la capacidad de los recursos.

The 'Run Setup' dialog box is shown with the following configuration:

- Number of Replications:** 200
- Initialize Between Replications:** Statistics, System
- Start Date and Time:** sábado, 24 de febrero de 2018 12:46:02
- Warm-up Period:** 0.0, **Time Units:** Hours
- Replication Length:** 2, **Time Units:** Hours
- Hours Per Day:** 24
- Base Time Units:** Minutes
- Terminating Condition:** (empty text box)

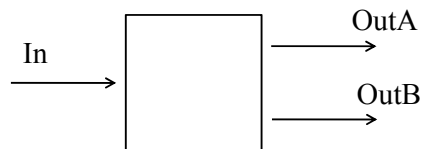
Buttons at the bottom: Aceptar, Cancelar, Aplicar, Ayuda.

Figura 1.9: Definición del experimento.

PREGUNTA 2 (3 puntos)

El siguiente modelo describe las acciones realizadas por un agente del Tipo C del Centro de Atención Telefónica descrito en la Pregunta 1. Describa el modelo empleando el formalismo DEVS clásico.

La interfaz del modelo, que se muestra en la siguiente figura, está compuesta por un puerto de entrada (In) y dos puertos de salida (OutA, OutB). En el puerto de entrada se reciben números naturales, cada uno de los cuales identifica de manera unívoca una llamada de un cliente.



El modelo puede encontrarse en cinco fases: *pasivo*, *recepción*, *transferA*, *transferB* y *solución*.

- Mientras no está en la fase *pasivo*, ignora los eventos de entrada.
- Si estando en la fase *pasivo* recibe en el puerto de entrada un dato, que llamaremos N , el comportamiento del modelo es el siguiente:
 1. Pasa a la fase *recepción*.
 2. Transcurridos Δ_1 segundos, donde Δ_1 de una observación de una distribución $U(20,40)$, obtiene un número pseudoaleatorio que llamaremos u .
 - Si $u \leq 0.15$, entonces
 - a) pasa a la fase *transferA*;
 - b) envía el valor N a través del puerto OutA; y
 - c) pasa a la fase *pasivo*.
 - Si $0.15 < u \leq 0.5$, entonces
 - a) pasa a la fase *transferB*;
 - b) envía el valor N a través del puerto OutB; y
 - c) pasa a la fase *pasivo*.
 - Si $u > 0.5$, entonces

- a) pasa a la fase *solución*; y
- b) transcurridos Δ_2 segundos, donde Δ_2 es una observación de una distribución $\text{triang}(60,120,180)$, pasa a la fase *pasivo*.

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. Obsérvese que el estado del sistema puede definirse mediante las variables de estado siguientes: (*fase*, σ , N). El significado de estas variables se explica a continuación.

- La variable *fase* tomar los valores siguientes: {"pasivo", "recepción", "transferA", "transferB", "solución"}.
- 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 N almacena el valor 0 mientras el sistema está en la fase "*pasivo*". En cualquiera de las otras fases, N almacena el último valor recibido en el puerto de entrada.

El estado inicial del sistema es ("pasivo", ∞ , 0).

Tabla 1.1: Modelo DEVS de la Pregunta 2.

Nombre del modelo	Ejercicio_2
Parámetros	
X	(In, \mathbb{N})
Y	(OutA, \mathbb{N}), (OutB, \mathbb{N})
Variables de estado	$fase \in \{\text{"pasivo"}, \text{"recepción"}, \text{"transferA"}, \text{"transferB"}, \text{"solución"}\};$ $\sigma \in \mathbb{R}_{0,\infty}^+;$ $N \in \mathbb{N} \cup \{0\};$
$\delta_{int} : S \rightarrow S$	if ($fase == \text{"recepción"}$) { $u \in [0, 1];$ $u = \text{observación de } U(0,1);$ if ($u \leq 0.15$) return ("transferA", 0, N); if ($u > 0.15$ and $u \leq 0.5$) return ("transferB", 0, N); $\Delta_2 \in [60, 180];$ $\Delta_2 = \text{observación de triang}(60,120,180);$ return ("solución", Δ_2 , N); } return ("pasivo", ∞ , 0);
$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$	if ($fase == \text{"pasivo"}$) { $\Delta_1 \in [20, 40];$ $\Delta_1 = \text{observación de } U(20,40);$ return ("recepción", Δ_1 , dato(In)); } return ($fase$, $\sigma - e$, N);
$\lambda : S \rightarrow Y$	if ($fase == \text{"transferA"}$) return (OutA, N); if ($fase == \text{"transferB"}$) return (OutB, N); return \emptyset ;
$ta : S \rightarrow \mathbb{R}_{0,\infty}^+$	return σ ;

PREGUNTA 3 (2 puntos)

- 3.a** (0.5 puntos) Explique detalladamente qué aplicación tienen los histogramas en el modelado de las entradas aleatorias al modelo.
- 3.b** (1 punto) Explique detalladamente cómo se dibuja el histograma de una variable aleatoria continua a partir de un conjunto de datos experimentales, x_1, \dots, x_n . Ponga un ejemplo de ello.
- 3.c** (0.5 puntos) Explique cómo obtener la distribución acumulada empírica continua a partir de los datos agrupados en forma de histograma.

Solución a la Pregunta 3

Véanse las Secciones 4.5.3 y 4.3.2 del texto base.

PREGUNTA 4 (2 puntos)

- 4.a** (1 punto) Explique detalladamente en qué consiste el método de réplicas/eliminación aplicado a las simulaciones en el estacionario.
- 4.b** (1 punto) Explique detalladamente en qué consiste el método de medias por lotes aplicado a las simulaciones en el estacionario.

Solución a la Pregunta 4

Véase la Sección 6.4.2 del texto base.