

# MODELADO Y SIMULACIÓN

Febrero de 2024 - Segunda semana

## PREGUNTA 1 (3 puntos)

Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento de un banco de alimentos, donde se reciben alimentos que son clasificados y etiquetados para su posterior distribución. El funcionamiento del sistema es descrito a continuación.

El sistema funciona diariamente desde las 8:00h hasta las 17:00h.

Los alimentos se reciben metidos en cajas de tamaños variados, que son traídas en una furgoneta y en coches. La furgoneta llega una única vez al día, siempre a la misma hora: a las 8:00h. Los coches van llegando uno a uno, a lo largo del día. El tiempo que transcurre entre la llegada consecutiva de dos coches está distribuido exponencialmente, con media 20 minutos. El número de cajas recibidas en cada caso es una observación de las distribuciones de probabilidad discretas descritas a continuación.

Coche		Furgoneta	
Núm. cajas	Probabilidad	Núm. cajas	Probabilidad
2	0.1	70	0.1
5	0.1	100	0.2
10	0.2	120	0.4
15	0.4	150	0.3
20	0.2		

El sistema dispone de una única cola FIFO donde son puestas las cajas de alimentos recibidas, en espera de ser inspeccionadas. Cada caja es procesada independientemente de las demás. El sistema dispone de 10 Puestos de Inspección, cada uno de los cuales es atendido por un operario. Los operarios trabajan independientemente

entre sí, realizando cada uno de inspección de una caja cada vez, de principio a fin. El operario abre la caja, revisa su contenido sin extraerlo y cierra la caja. El objetivo de la inspección es primeramente comprobar si el contenido de la caja está deteriorado, en cuyo caso la caja completa es inmediatamente desechada, abandonando el sistema. Si el contenido no está deteriorado, el operario lee el albarán que va dentro de la caja a fin de clasificar la caja como “pronto consumo” o “larga duración”.

Se estima que la probabilidad de que una caja deba ser desechada (su contenido está deteriorado) es 0.05. Las cajas no desechadas tienen una probabilidad 0.3 de ser clasificadas como de “pronto consumo” y una probabilidad 0.7 de ser clasificadas como de “larga duración”.

El tiempo que tarda un operario en inspeccionar una caja es una observación de una distribución de probabilidad uniforme continua, con valor mínimo 5 minutos y máximo 10 minutos.

Las cajas clasificadas como de “larga duración” son puestas en la cola FIFO del Proceso de Etiquetado, que es realizado por 3 operarios que trabajan independientemente entre sí. Una vez etiquetada, la caja abandona el sistema.

El tiempo que un operario emplea en etiquetar una caja es una observación de una distribución de probabilidad que depende de si la caja ha sido traída en la furgoneta o en un coche, tal como se explica a continuación.

- Si la caja ha sido traída en la furgoneta, el tiempo necesario para etiquetarla es una observación de una distribución uniforme con valor mínimo 1 minuto y máximo 2 minutos.
- Si la caja ha sido traída en un coche, el tiempo necesario para etiquetarla es una observación de una distribución triangular con valor mínimo 3 minutos, valor máximo 5 minutos y moda 4 minutos.

Las cajas clasificadas como “pronto consumo” deben ser manipuladas, a fin de extraer de ellas los alimentos que caducan en menos de una semana, a los que se denomina de “consumo inmediato”. Esta tarea, denominada Proceso de Manipulación, la realizan 5 operarios, que trabajan independientemente entre sí. Cada caja es manipulada por un operario. El tiempo que emplea un operario en manipular una caja está distribuido triangularmente, con valor mínimo 5 minutos, valor máximo 15 minutos y moda 10 minutos. Una vez extraídos los alimentos de consumo inmediato, la caja es cerrada y puesta en la cola FIFO del Proceso de Etiquetado, siendo a partir de ese punto tratada como a las cajas clasificadas como “larga duración”. La forma

en que se procede con los alimentos de consumo inmediato no es de interés para este estudio.

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. El objetivo de la simulación es estimar la utilización media de los recursos y el número de cajas que hay en el sistema al finalizar el día.

### **Solución a la Pregunta 1**

En la Figura 1.1 se muestra el diagrama de módulos del modelo y en la Figura 1.2 los dos procesos de llegada de cajas. En el modelo hay una sola clase de entidad, denominada *caja*. En la Figura 1.3 se muestra la asignación de valor al atributo *tEtiquetado*. En las Figuras 1.4 y 1.5 se muestran los módulos que describen los tres procesos del sistema. La capacidad de los recursos se especifica en el módulo de datos *Resource* del panel *Basic Process*, tal como puede verse en la Figura 1.6. Los dos bloques de bifurcación se muestran en la Figura 1.7. En la Figura 1.8 se muestra la definición de un experimento en el cual se realizan 100 réplicas independientes del funcionamiento diario del sistema, el cual está operativo durante 9 horas al día.

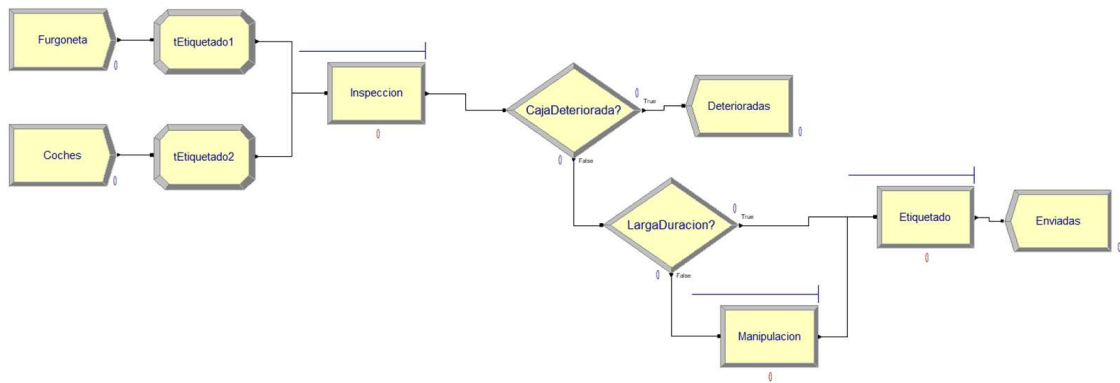


Figura 1.1: Diagrama de módulos del sistema.

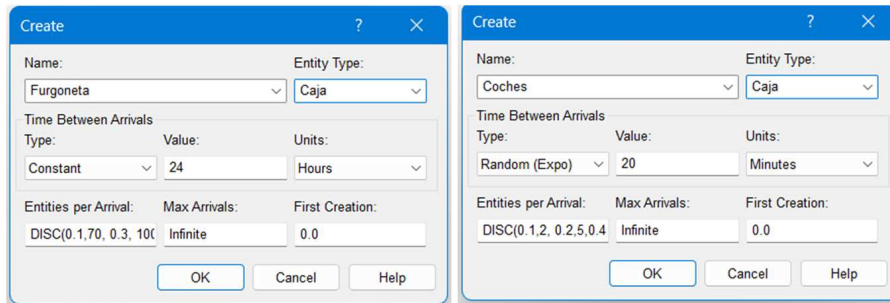


Figura 1.2: Módulos que describen el proceso de llegada de cajas. El número de entidades por llegada es descrito mediante las distribuciones de probabilidad siguientes: DISC(0.1,70, 0.3, 100, 0.7, 120, 1, 150) para la llegada en la furgoneta y DISC(0.1,2, 0.2,5,0.4, 10,0.8, 15, 1, 20) para las llegadas en coche.

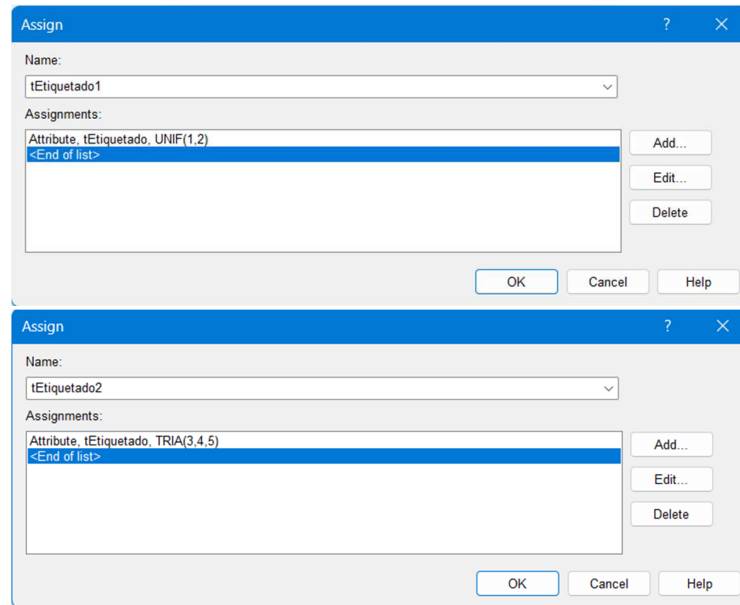


Figura 1.3: Módulos que asignan valor al atributo *tEtiquetado*.

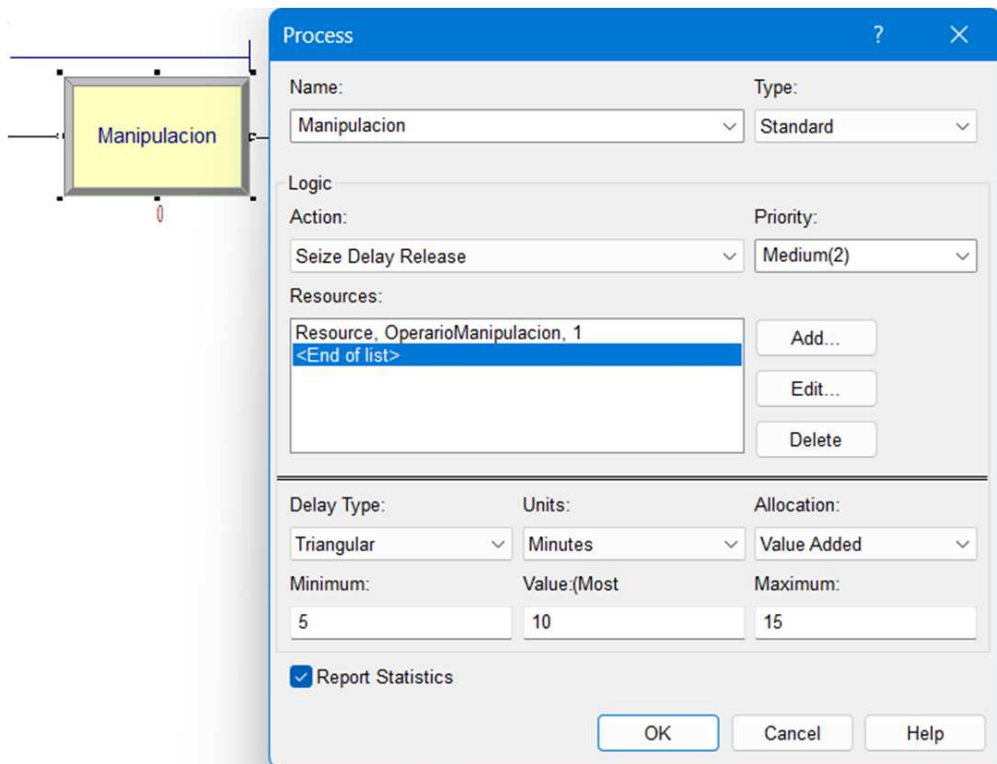
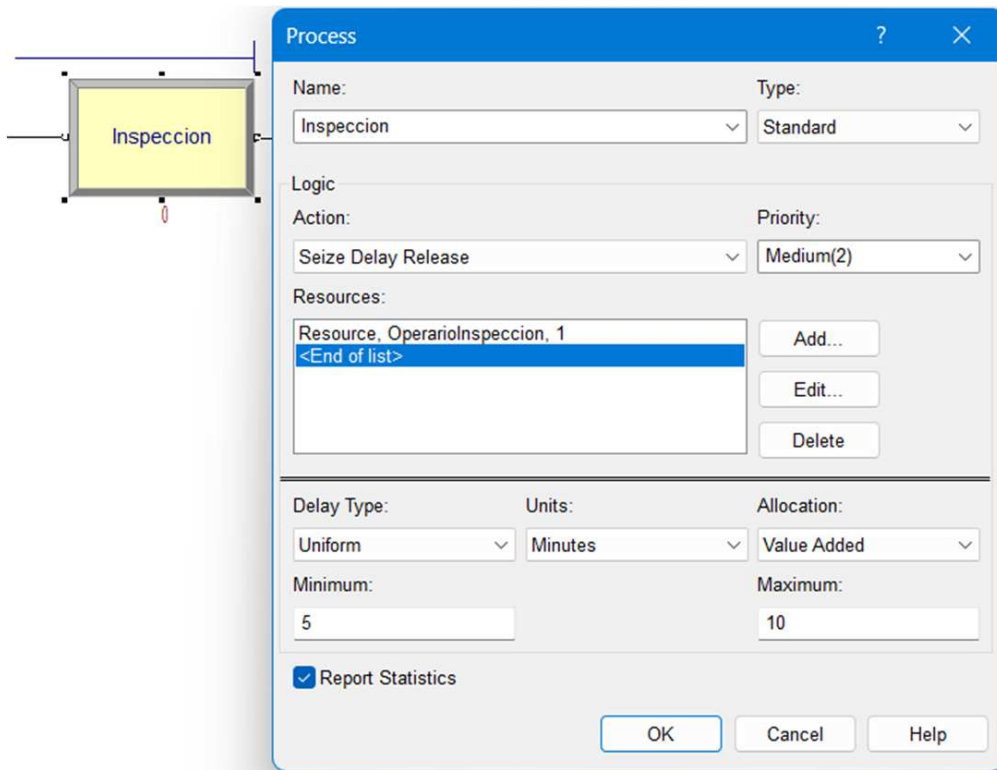


Figura 1.4: Procesos de inspección y manipulación.

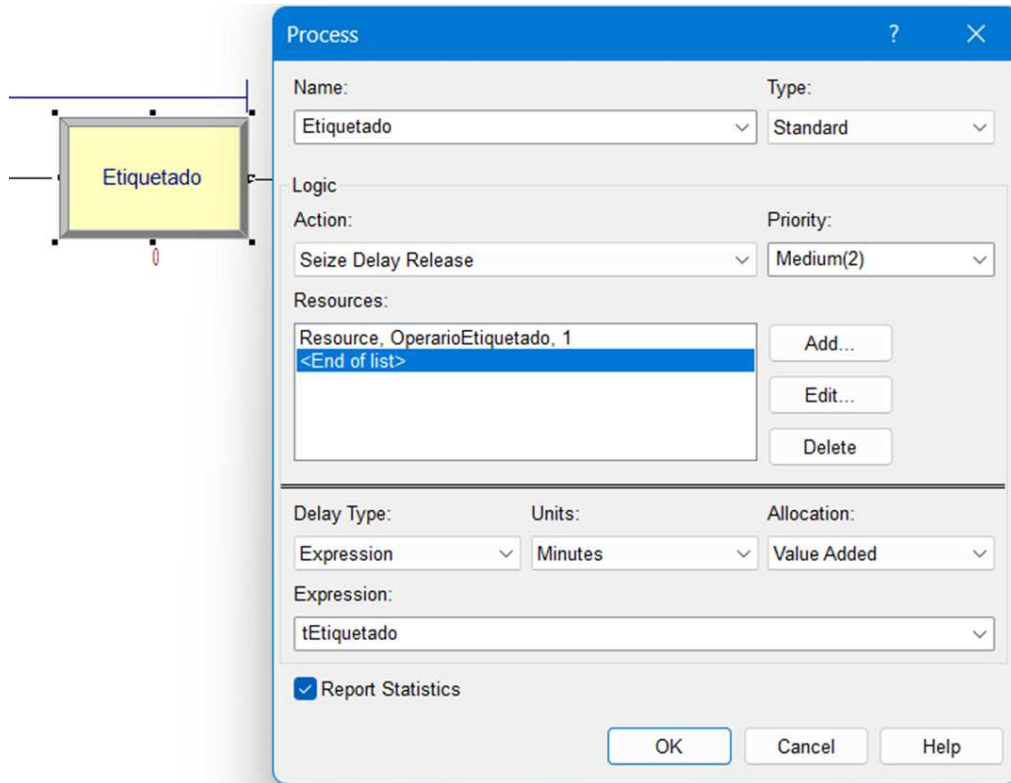


Figura 1.5: Proceso de etiquetado.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	OperarioInspeccion	Fixed Capacity	10	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	OperarioEtiquetado	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	OperarioManipulacion	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 1.6: Capacidad de los recursos.

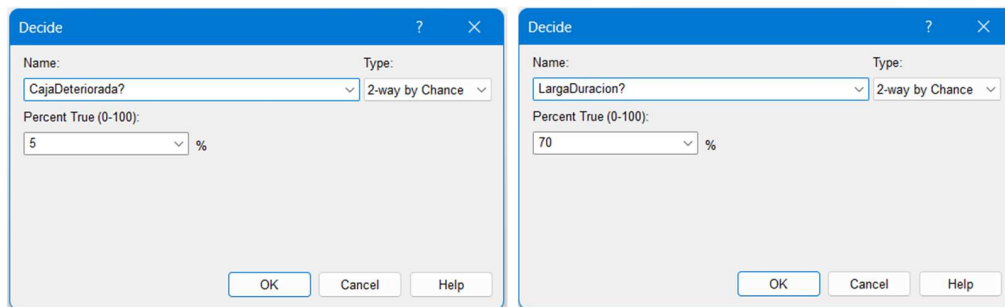
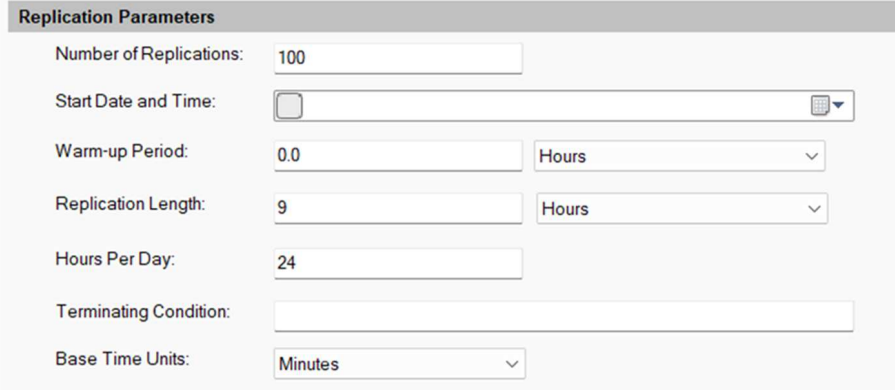


Figura 1.7: Bloques de bifurcación.



Replication Parameters	
Number of Replications:	100
Start Date and Time:	<input type="text"/>
Warm-up Period:	0.0 Hours
Replication Length:	9 Hours
Hours Per Day:	24
Terminating Condition:	<input type="text"/>
Base Time Units:	Minutes

**Figura 1.8:** Definición de un experimento.

## PREGUNTA 2 (3 puntos)

Describa mediante un modelo atómico DEVS clásico el comportamiento simplificado, que es descrito a continuación, de un Puesto de Inspección del sistema de la pregunta anterior.

La interfaz del modelo está compuesta por un puerto de entrada llamado *InCaja*, y tres puertos de salida llamados *OutDesechada*, *OutProntoConsumo* y *OutLargaDuracion*.

Los valores recibidos en el puerto de entrada son números naturales mayores que cero, cada uno de los cuales identifica de manera unívoca una caja. La recepción de un valor indica la llegada de la correspondiente caja al Puesto de Inspección.

El operario puede encontrarse en dos estados: *libre* y *ocupado*. Inicialmente el empleado se encuentra *libre*.

Si cuando llega una nueva caja el empleado está *libre*, entonces el empleado pasa a estar *ocupado* inspeccionando la caja recibida. La distribución de probabilidad del tiempo necesario para inspeccionar una caja, así como la probabilidad de que la caja sea desechada, o clasificada como “pronto consumo” o “larga duración”, son las indicadas en la Pregunta 1. Una vez inspeccionada, la caja abandona el Puesto de Inspección. Esto se modela enviando a través del correspondiente puerto de salida el número identificador de la caja y pasando entonces el empleado a estar *libre*.

El operario ignora las cajas que reciba mientras se encuentra *ocupado*.

Puede realizar todas las hipótesis adicionales que desee acerca del funcionamiento del sistema, siempre que 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*,  $\sigma$ , *idCaja*). 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 *idCaja* almacena el identificador del paciente que está siendo atendido o el valor cero si el operario 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	
$X$	( InCaja, $\mathbb{N} - \{0\}$ )
$Y$	( OutDesechada, $\mathbb{N} - \{0\}$ ) ( OutProntoConsumo, $\mathbb{N} - \{0\}$ ) ( OutLargaDuracion, $\mathbb{N} - \{0\}$ )
Variables de estado	$fase \in \{ \text{"libre"}, \text{"ocupado"} \};$ $\sigma \in \mathbb{R}_{0,\infty}^+;$ $idCaja \in \mathbb{N};$
$\delta_{int} : S \rightarrow S$	<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(InCaja) ); } <b>else</b> { <b>return</b> ( "ocupado", $\sigma - e$ , <i>idCaja</i> ); }
$\lambda : S \rightarrow Y$	$r1$ = observación U(0,1); <b>if</b> ( $r1 < 0.05$ ) { <b>return</b> ( OutDesechada, <i>idCaja</i> ); } <b>else</b> { $r2$ = observación U(0,1); <b>if</b> ( $r2 < 0.3$ ) { <b>return</b> ( OutProntoConsumo, <i>idCaja</i> ); } <b>else</b> { <b>return</b> ( OutLargaDuracion, <i>idCaja</i> ); } }
$ta : S \rightarrow \mathbb{R}_{0,\infty}^+$	<b>return</b> $\sigma$ ;



**PREGUNTA 3** (2 puntos)

- 3.a** (0.5 puntos) Explique detalladamente qué es un Generador Congruencial Lineal (GCL) de números pseudoaleatorios y cómo se genera una secuencia de números pseudoaleatorios empleando este tipo de generador. Ponga un ejemplo.
- 3.b** (0.5 puntos) Explique detalladamente la diferencia entre un GCL mixto y un GCL multiplicativo. Ponga un ejemplo de cada tipo de generador.
- 3.c** (0.5 puntos) Explique detalladamente qué es el periodo de un GCL. Ponga un ejemplo.
- 3.d** (0.5 puntos) Explique detalladamente qué significa que un GCL tiene periodo completo.

**Solución a la Pregunta 3**

Véase la Sección 5.2.3 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.