

# MODELADO Y SIMULACIÓN

## Febrero de 2026 - Segunda semana

### PREGUNTA 1 (3 puntos)

Se pretende estudiar mediante simulación el funcionamiento del gimnasio descrito a continuación.

El gimnasio dispone de una *sala de musculación* con diferentes máquinas de entrenamiento, dos *salas para actividades deportivas dirigidas*, en las cuales los monitores imparten clase, y también tiene una piscina. En el gimnasio hay un vestuario masculino y uno femenino, cada uno de los cuales tiene duchas. El objetivo del estudio de simulación es analizar si el número de duchas que hay en los vestuarios resulta adecuado.

El gimnasio funciona todos los días entre las 7:00h y las 23:00h, estando más concurrido entre las 18:00h y las 21:00h. El estudio de simulación va a restringirse a analizar el funcionamiento del gimnasio durante estas horas (entre las 18:00h y las 21:00h) en las cuales el gimnasio está más concurrido.

Suponemos que cuando un cliente acude al gimnasio, o bien va a hacer uso de la sala de musculación y/o de la piscina, o bien va a participar en una clase (actividad dirigida por un monitor). La llegada de clientes al gimnasio se modela de la forma siguiente.

- Los usuarios que van a hacer uso de la sala de musculación y/o de la piscina llegan de uno en uno. El tiempo que transcurre entre la llegada sucesiva de usuarios está distribuido exponencialmente con media 1 minuto.
- En el periodo de tiempo analizado hay tres clases de 45 minutos de duración en cada una de las salas. En una sala la actividad comienza a las 18:00h, a las 19:00h y a las 20:00h. En la otra sala comienza a las 18:30h, 19:30h y 20:30h. Por simplicidad, suponemos que justo a la hora a la que comienza la actividad llegan 20 usuarios al gimnasio, que es el número máximo de alumnos en una clase.

Suponemos que los clientes usan la sala de musculación y/o la piscina de la forma siguiente.

- La probabilidad de que un cliente use solo la sala de musculación es 0.6, la probabilidad de que use solo la piscina es 0.3, y la probabilidad de que use primero la sala de musculación y a continuación la piscina es 0.1.
- El tiempo de entrenamiento en la sala de musculación de los usuarios que solo usan dicha sala está distribuido uniformemente entre los 30 y los 90 minutos. El tiempo de entrenamiento en la sala de musculación de los usuarios que a continuación van a nadar está distribuido uniformemente entre los 5 y los 20 minutos.
- El tiempo durante el cual nadan los usuarios que usan solo la piscina está distribuido triangularmente con rango  $[30, 80]$  minutos y moda 50 minutos, mientras que el tiempo que nadan los usuarios que previamente han usado la sala de musculación está distribuido triangularmente con rango  $[15, 45]$  minutos y moda 30 minutos.
- Al terminar el entrenamiento, bien sea en la sala de musculación o en la piscina, los clientes usan uno de los vestuarios y a continuación abandonan el gimnasio.

Los clientes que asisten al gimnasio para participar en una clase actúan de la forma siguiente. Al llegar al gimnasio se dirigen a la sala donde va a desarrollarse la actividad y participan en ésta durante 45 minutos, a continuación usan el vestuario y finalmente abandonan el gimnasio.

Cada cliente o bien usa el vestuario masculino, o bien usa el vestuario femenino. La probabilidad de que el cliente use el vestuario femenino es 0.4.

Si bien cada cliente usa alguno de los vestuarios, no todos los clientes se duchan en el vestuario. La probabilidad de que el cliente decida ducharse en el vestuario del gimnasio depende de la actividad que haya desarrollado en el gimnasio.

- Todos los clientes que usan la piscina, con independencia de si usaron o no la sala de musculación, se duchan.
- La probabilidad de que un cliente que solo ha usado la sala de musculación se duche en el gimnasio es 0.5.
- La probabilidad de que un cliente que ha asistido a una clase se duche en el gimnasio es 0.3.

En este estudio de simulación, la única característica de interés de los vestuarios es el uso de las duchas. Cada vestuario dispone de 4 duchas, frente a las cuales en cada vestuario se forma una única cola FIFO.

Los clientes que usan el vestuario masculino con intención de ducharse desisten de ello si cuando llegan al vestuario hay 2 clientes esperando en la cola de las duchas. En este caso, el cliente

abandona el vestuario inmediatamente, sin haberse duchado. Este fenómeno no se observa en el vestuario femenino, en el cual los clientes se ponen a la cola de la ducha con independencia del tamaño de ésta.

El tiempo que emplea un cliente en ducharse es una observación independiente de una distribución normal de media 5 minutos y desviación estándar 1 minuto.

El objetivo de la simulación es analizar el tiempo de espera en cola de las duchas en cada vestuario, así como el número de clientes que desiste de ducharse en cada vestuario.

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. Indique también cómo definiría el experimento de simulación usando Arena.

## Solución a la Pregunta 1

En la Figura 1.1 se muestra el diagrama de módulos del modelo, que ha sido compuesto usando bloques de los paneles *Basic Process* y *Blocks*. Por el sistema circula un único tipo de entidad, que hemos llamado “cliente”. En la Figura 1.2 se muestra la descripción de los dos procesos de llegada de clientes al gimnasio. La acción de los bloques *Process* llamados “Piscina”, “Musculacion y piscina”, “Musculacion” y “Clase” es de tipo Delay, mientras que la acción del bloque *Process* llamado “Duchas fem” es de tipo Seize, Delay, Release. El balking en la cola de las duchas del vestuario masculino se modela mediante el bloque *Queue*, tal como se muestra en la Figura 1.3.

La capacidad de los recursos (número de duchas) se indica en el bloque de datos *Resource* del panel *Basic Process*, tal como se muestra en la Figura 1.4. En la Figura 1.5 se muestra cómo se han definido los procesos.

Al definir el experimento se indica que la longitud de la réplica son 180 minutos, y que el día consta de 3 horas. Base Time Units son minutos.

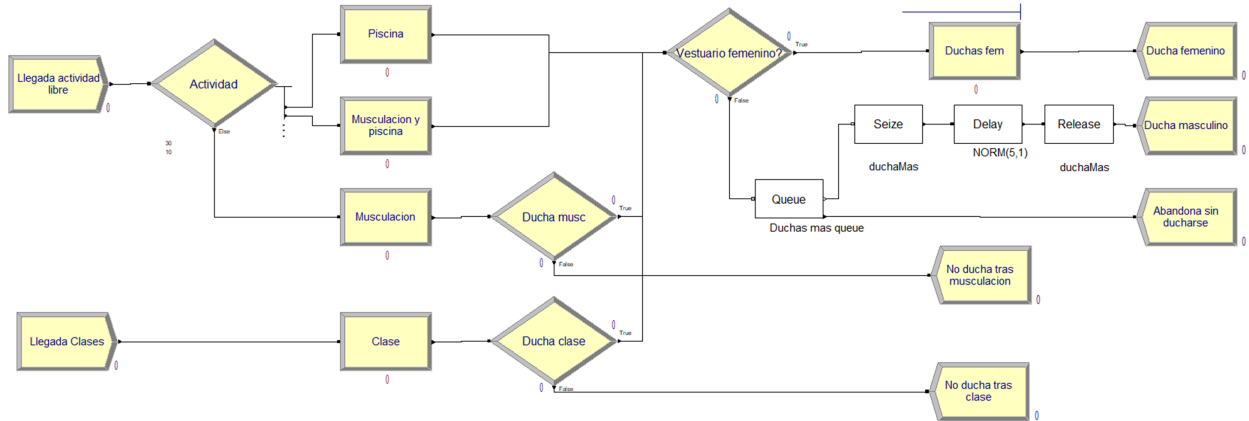


Figura 1.1: Diagrama de módulos del sistema.

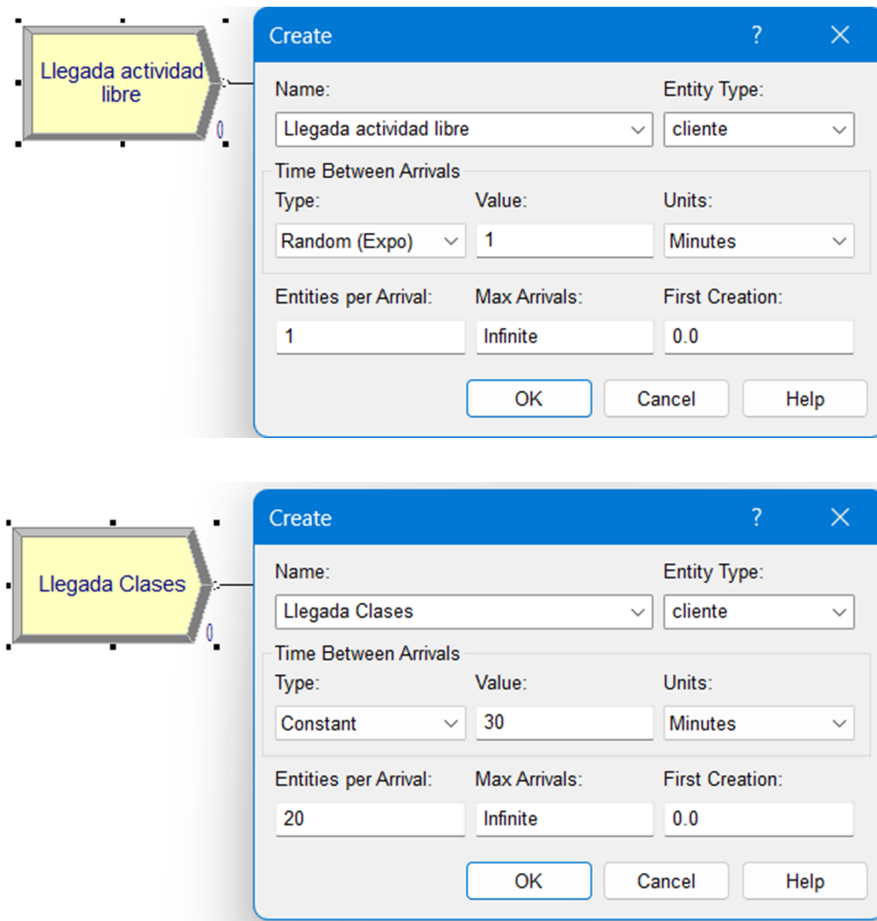


Figura 1.2: Módulos *Create* que describen los dos procesos de llegada de clientes al gimnasio.

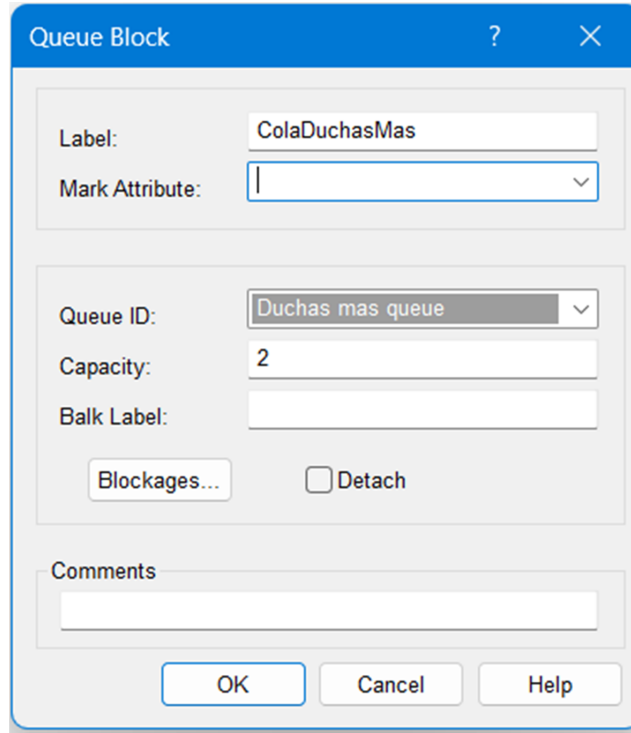


Figura 1.3: Cola frente a las duchas del vestuario masculino.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	duchaFem	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	duchaMas	Fixed Capacity	4	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: número de duchas de los vestuarios.

Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Expression
Musculacion	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Minutes	Value Added	30	1	90	.2	1
Piscina	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Triangular	Hours	Value Added	.5	1	1.5	.2	1
Musculacion y piscina	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Expression	Minutes	Value Added	.5	1	1.5	.2	UNIF(5,20)+TRIA(15,30,45)
Clase	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	.5	45	1.5	.2	1
Duchas fem	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	.5	5	1.5	1	1

Figura 1.5: Definición de los bloques *Process*.

**PREGUNTA 2** (3 puntos)

Empleando el formalismo DEVS clásico, describa el siguiente modelo de la cola FIFO formada frente a las duchas del vestuario masculino del gimnasio descrito en la Pregunta 1.

La interfaz del modelo DEVS de la cola FIFO está compuesta por dos puertos de entrada (In, Duchas) y dos puertos de salida (Out, OutDesiste). En el puerto de entrada In se reciben números naturales mayores que cero, cada uno de los cuales identifica de manera unívoca un cliente. A través del puerto de entrada Duchas se reciben eventos cuyo valor está en el conjunto de números enteros  $\{0, 1, \dots, N\}$ , siendo  $N$  el número total de duchas del vestuario. Por los puertos Out y OutDesiste se envían números naturales mayores que cero, los cuales identifican a clientes.

- La recepción de un evento en el puerto In representa la llegada de un cliente a la cola.
- Los eventos recibidos en el puerto Duchas describen el número de duchas que se encuentran libres en el vestuario masculino. Cada vez que dicho número cambia, se recibe un evento en el puerto Duchas indicando el nuevo valor. Por ejemplo, la recepción del número 2 indica que hay 2 duchas libres.
- Los eventos enviados a través del puerto de salida Out describen los clientes que abandonan la cola para ducharse.
- Los eventos enviados a través del puerto OutDesiste describen los clientes que abandonan la cola inmediatamente al llegar, debido a que hay dos clientes esperando en ella.

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: ( $fase$ ,  $\sigma$ ,  $ID\_cola$ ,  $ID\_desiste$ ,  $nLibres$ ).

- La variable  $fase$  puede tomar valores en el conjunto siguiente: {“pasivo”, “aDucha”, “desiste”}.
- 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.
- El vector de dos componentes  $ID\_cola$  almacena en sus elementos 1 y 2 el identificador del cliente que espera en primera y en segunda posición en la cola FIFO respectivamente, o el valor cero si la correspondiente posición en la cola de encuentra libre. Nos referiremos al valor de los componentes como  $ID\_cola[1]$  y  $ID\_cola[2]$ , de modo que el vector es:  $ID\_cola = [ID\_cola[1], ID\_cola[2]]$ .
- La variable  $ID\_desiste$  almacena el identificador del cliente que acaba de llegar a la cola y va a abandonarla inmediatamente debido a que ya hay 2 clientes esperando. En ausencia de un cliente que vaya a abandonar la cola, almacena el valor 0.
- La variable  $nLibres$  almacena el número de duchas libres que hay actualmente en el vestuario.

Inicialmente la cola se encuentra vacía y todas las duchas del vestuario están libres. El estado inicial del sistema es: (“pasivo”,  $\infty$ ,  $[0, 0]$ , 0,  $N$ ).

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

Nombre del modelo	Ejercicio_2
Parámetros	$N \in \mathbb{N} - \{0\}$ ;
$X$	( In, $\mathbb{N} - \{0\}$ ) ( Duchas, $\{0, 1, \dots, N\}$ )
$Y$	( Out, $\mathbb{N} - \{0\}$ ) ( OutDesiste, $\mathbb{N} - \{0\}$ )
Variables de estado	$fase \in \{“pasivo”, “aDucha”, “desiste”\}$ ; $\sigma \in \mathbb{R}_{0,\infty}^+$ ; $ID\_cola[1] \in \mathbb{N} - \{0\}$ ; $ID\_cola[2] \in \mathbb{N} - \{0\}$ ; $ID\_desiste \in \mathbb{N} - \{0\}$ ; $nLibres \in \{0, 1, \dots, N\}$ ;
$\delta_{int} : S \rightarrow S$	<b>if</b> ( fase == “aDucha” ) { <b>return</b> ( “pasivo”, $\infty$ , [ID_cola[2],0], 0, $nLibres$ ); } <b>elseif</b> ( fase == “desiste” ) { <b>return</b> ( “pasivo”, $\infty$ , ID_cola, 0, $nLibres$ ); }
$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$	<b>if</b> ( dato(In) $\neq \emptyset$ ) { <b>if</b> ( $nLibres > 0$ ) { <b>return</b> ( “aDucha”, 0, [dato(In),0], 0, $nLibres$ ); } <b>else</b> { <b>if</b> ( ID_cola[1] == 0 ) { <b>return</b> ( “pasivo”, $\infty$ , [dato(In),0], 0, $nLibres$ ); } <b>elseif</b> ( ID_cola[2] == 0 ) { <b>return</b> ( “pasivo”, $\infty$ , [ID_cola[1],dato(In)], 0, $nLibres$ ); } <b>else</b> { <b>return</b> ( “desiste”, 0, ID_cola, dato(In), $nLibres$ ); } } } <b>else</b> { <b>if</b> ( dato(Duchas) $> 0$ ) { <b>return</b> ( “aDucha”, 0, ID_cola, 0, dato(Duchas) ); } <b>else</b> { <b>return</b> ( “pasivo”, $\infty$ , ID_cola, 0, dato(Duchas) ); } }
$\lambda : S \rightarrow Y$	<b>if</b> ( fase == “aDucha” <b>and</b> ID_cola[1] $\neq 0$ ) { <b>return</b> ( Out, ID_cola[1] ); } <b>elseif</b> ( fase == “desiste” ) { <b>return</b> ( OutDesiste, ID_desiste ); }
$ta : S \rightarrow \mathbb{R}_{0,\infty}^+$	<b>return</b> $\sigma$ ;

**PREGUNTA 3** (2 puntos)

- 3.a** (1 punto) En el modelo del gimnasio descrito en la Pregunta 1, el proceso estocástico de llegada de los usuarios que van a hacer uso de la sala de musculación y/o de la piscina, ¿es un proceso de Poisson? Explique detalladamente su respuesta.
- 3.b** (1 punto) Explique detalladamente cómo se generan los instantes de llegada de un proceso de Poisson estacionario de frecuencia  $\lambda$ .

**Solución a la Pregunta 3**

Véanse las Secciones 4.9.1 y 5.7.1 del texto base.

**PREGUNTA 4** (2 puntos)

Supóngase que se desea estimar la media en el estacionario de un cierto proceso estocástico.

- 4.a** (1 punto) Explique detalladamente qué finalidad tiene y cómo se aplica el método gráfico de Welch.
- 4.b** (1 punto) Explique detalladamente qué finalidad tienen y cómo se aplica cada uno de los dos métodos siguientes: método de réplicas/eliminación y método de las medias por lotes.

**Solución a la Pregunta 4**

Véase la Sección 6.4 del texto base.