

# Proyectos de Simulación basada en Eventos Discretos

Colectivo de Simulación

## Orientaciones Generales

Cada estudiante debe realizar la implementación de uno de los problemas presentes (asignado directamente por el profesor de conferencia).

Esta implementación puede ser realizada en cualquier lenguaje de programación y debe entregarse por correo electrónico al profesor de conferencia (yudy@matcom.uh.cu) antes del viernes 25 de marzo a las 12:00 de la noche. Junto a la implementación (en la implementación se deben programar también toda la generación de variables aleatorias) se debe enviar un informe de trabajo (un documento en formato pdf).

El informe de trabajo debe contener los siguientes elementos:

- Generales del Estudiante
- Orden del Problema Asignado
- Principales Ideas seguidas para la solución del problema
- Modelo de Simulación de Eventos Discretos Desarrollado para resolver el problema
- Consideraciones obtenidas a partir de la ejecución de las simulaciones del problema

## 1. La Cocina de Kojo (Kojo's Kitchen)

La cocina de Kojo es uno de los puestos de comida rápida en un centro comercial. El centro comercial está abierto entre las 10:00 am y las 9:00 pm cada día. En este lugar se sirven dos tipos de productos: sándwiches y sushi. Para los objetivos de este proyecto se asumirá que existen solo dos tipos de consumidores: unos consumen solo sándwiches y los otros consumen solo productos de la gama del sushi. En Kojo hay dos períodos de hora pico durante un día de trabajo; uno entre las 11:30 am y la 1:30 pm, y el otro entre las 5:00 pm y las 7:00 pm. El intervalo de tiempo entre el arribo de un consumidor y el de otro no es homogéneo pero, por conveniencia, se asumirá que es homogéneo. El intervalo de tiempo de los segmentos homogéneos, distribuye de forma exponencial.

Actualmente dos empleados trabajan todo el día preparando sándwiches y sushi para los consumidores. El tiempo de preparación depende del producto en cuestión. Estos distribuyen de forma uniforme, en un rango de 3 a 5 minutos

para la preparación de sándwiches y entre 5 y 8 minutos para la preparación de sushi.

El administrador de Kojo está muy feliz con el negocio, pero ha estado recibiendo quejas de los consumidores por la demora de sus peticiones. Él está interesado en explorar algunas opciones de distribución del personal para reducir el número de quejas. Su interés está centrado en comparar la situación actual con una opción alternativa donde se emplea un tercer empleado durante los períodos más ocupados. La medida del desempeño de estas opciones estará dada por el porcentaje de consumidores que espera más de 5 minutos por un servicio durante el curso de un día de trabajo.

Se desea obtener el porcentaje de consumidores que esperan más de 5 minutos cuando solo dos empleados están trabajando y este mismo dato agregando un empleado en las horas pico.

## 2. Puerto Sobrecargado (Overloaded Harbor)

En un puerto de supertanqueros que cuenta con 3 muelles y un remolcador para la descarga de estos barcos de manera simultánea se desea conocer el tiempo promedio de espera de los barcos para ser cargados en el puerto.

El puerto cuenta con un bote remolcador disponible para asistir a los tanqueros. Los tanqueros de cualquier tamaño necesitan de un remolcador para aproximarse al muelle desde el puerto y para dejar el muelle de vuelta al puerto.

El tiempo de intervalo de arribo de cada barco distribuye mediante una función exponencial con  $\lambda = 8$  horas. Existen tres tamaños distintos de tanqueros: pequeño, mediano y grande, la probabilidad correspondiente al tamaño de cada tanquero se describe en la tabla siguiente. El tiempo de carga de cada tanquero depende de su tamaño y los parámetros de distribución normal que lo representa también se describen en la tabla siguiente.

Tamaño	Probabilidad de Arribo	Tiempo de Carga
Pequeño	0.25	$\mu = 9, \sigma^2 = 1$
Mediano	0.25	$\mu = 12, \sigma^2 = 2$
Grande	0.5	$\mu = 18, \sigma^2 = 3$

De manera general, cuando un tanquero llega al puerto, espera en una cola (virtual) hasta que exista un muelle vacío y que un remolcador esté disponible para atenderle. Cuando el remolcador está disponible lo asiste para que pueda comenzar su carga, este proceso demora un tiempo que distribuye exponencial con  $\lambda = 2$  horas. El proceso de carga comienza inmediatamente después de que el barco llega al muelle. Una vez terminado este proceso es necesaria la asistencia del remolcador (esperando hasta que esté disponible) para llevarlo de vuelta al puerto, el tiempo de esta operación distribuye de manera exponencial con  $\lambda = 1$  hora. El traslado entre el puerto y un muelle por el remolcador sin tanquero distribuye exponencial con  $\lambda = 15$  minutos.

Cuando el remolcador termina la operación de aproximar un tanquero al muelle, entonces lleva al puerto al primer barco que esperaba por salir, en caso de que no exista barco por salir y algún muelle esté vacío, entonces el remolcador se dirige hacia el puerto para llevar al primer barco en espera hacia el muelle vacío; en caso de que no espere ningún barco, entonces el remolcador esperará por algún barco en un muelle para llevarlo al puerto. Cuando el remolcador termina

la operación de llevar algún barco al puerto, este inmediatamente lleva al primer barco esperando hacia el muelle vacío. En caso de que no haya barcos en los muelles, ni barcos en espera para ir al muelle, entonces el remolcador se queda en el puerto esperando por algún barco para llevar a un muelle.

Simule completamente el funcionamiento del puerto. Determine el tiempo promedio de espera en los muelles.

### 3. Canal Marítimo

Un canal marítimo consiste en una o más esclusas colocadas en diques consecutivos de manera que la combinación de estas permite el ascenso o descenso de los barcos, permitiendo el acceso del barco al dique siguiente. Estos canales son usados para la navegación a través de aguas turbulentas o para atravesar terrenos terrestres. Se desea conocer el tiempo de espera de los barcos para el uso de un canal con 5 diques para su funcionamiento.

La operación de un canal puede ser dividido en dos ciclos muy similares que llamaremos ciclo de subida y ciclo de bajada. El ciclo de subida comienza con la compuerta del nivel superior cerrada y la compuerta del nivel inferior abierta. Los barcos esperando en el nivel inferior entran en el dique. Cuando los barcos se acomodan dentro del dique las puertas del nivel inferior se cierran y las puertas del nivel superior se abren y el agua del nivel superior inunda el dique, haciendo la función de un elevador marítimo. Luego los barcos pasan al nivel superior, dejando el dique vacío. El ciclo de bajada consiste en el funcionamiento opuesto del ciclo descrito.

Ambos ciclos tienen las mismas 3 fases para su cumplimiento, que se pueden llamar como fase de entrada, fase de transporte y fase de salida respectivamente. La fase de entrada consiste en abrir las puertas del nivel inferior y dejar entrar a los barcos esperando hasta que estos se acomodan dentro del dique, la duración de este proceso depende del tiempo de apertura de las compuertas que distribuye de manera exponencial con  $\lambda = 4$  minutos y el tiempo que se demora cada barco en entrar al dique, que distribuye de manera exponencial con  $\lambda = 2$  minutos independientemente del tamaño de cada barco. Los barcos a entrar en el dique son tomados de manera secuencial de la cola de arriba de los barcos y en caso de que algún barco no quepa en el dique, el siguiente en la cola toma su lugar, en caso de que ningún barco quepa en el dique, la fase comienza sin llenar la capacidad del dique. La fase de transporte incluye cerrar la compuerta del nivel inferior, la apertura del nivel superior y el llenado del dique, esta fase tiene un tiempo de duración que distribuye de manera exponencial con  $\lambda = 7$  minutos. La fase de salida se compone por la salida de los barcos del dique así como el cerrar la puerta del nivel superior, esta fase tarda un tiempo que distribuye de manera exponencial con  $\lambda = 1,5$  minutos por cada barco en el dique.

El número total de barcos que pueden ser acomodados en un dique depende del tamaño físico de los barcos. Estos tienen 3 tamaños distintos: pequeño, mediano y grande y el tamaño de cada uno de estos corresponde a la mitad del anterior. Cada dique puede albergar 2 filas con espacio para el equivalente a 3 barcos medianos (1 grande y dos pequeños). El tiempo de arribo de los barcos distribuye de acuerdo con la función Normal y dependen del tamaño del barco así como de la hora del día (el canal funciona de 8 am a 8 pm), los parámetros de la función se resumen en la tabla siguiente.

Tamaño	8:00 Am - 11:00 am	11:00 am - 5:00 pm	5:00 pm - 8:00 pm
Pequeño	$\mu = 5, \sigma^2 = 2$	$\mu = 3, \sigma^2 = 1$	$\mu = 10, \sigma^2 = 2$
Mediano	$\mu = 15, \sigma^2 = 3$	$\mu = 10, \sigma^2 = 5$	$\mu = 20, \sigma^2 = 5$
Grande	$\mu = 45, \sigma^2 = 3$	$\mu = 35, \sigma^2 = 7$	$\mu = 60, \sigma^2 = 9$

Simule el funcionamiento del canal. Estime la suma de los tiempos de espera de todos los barcos.

## 4. Happy Computing

Happy Computing es un taller de reparaciones electrónicas se realizan las siguientes actividades (el precio de cada servicio se muestra entre paréntesis):

1. Reparación por garantía (Gratis)
2. Reparación fuera de garantía (\$350)
3. Cambio de equipo (\$500)
4. Venta de equipos reparados (\$750)

Se conoce además que el taller cuenta con 3 tipos de empleados: Vendedor, Técnico y Técnico Especializado.

Para su funcionamiento, cuando un cliente llega al taller, es atendido por un vendedor y en caso de que el servicio que requiera sea una Reparación (sea de tipo 1 o 2) el cliente debe ser atendido por un técnico (especializado o no). Además en caso de que el cliente quiera un cambio de equipo este debe ser atendido por un técnico especializado. Si todos los empleados que pueden atender al cliente están ocupados, entonces se establece una cola para sus servicios. Un técnico especializado sólo realizará Reparaciones si no hay ningún cliente que desee un cambio de equipo en la cola.

Se conoce que los clientes arriban al local con un intervalo de tiempo que distribuye poisson con  $\lambda = 20$  minutos y que el tipo de servicios que requieren pueden ser descrito mediante la tabla de probabilidades:

Tipo de Servicio	Probabilidad
1	0.45
2	0.25
3	0.1
4	0.2

Además se conoce que un técnico tarda un tiempo que distribuye exponencial con  $\lambda = 20$  minutos, en realizar una Reparación Cualquiera. Un técnico especializado tarda un tiempo que distribuye exponencial con  $\lambda = 15$  minutos para realizar un cambio de equipos y la vendedora puede atender cualquier servicio en un tiempo que distribuye normal ( $N(5 \text{ min}, 2\text{mins})$ ).

El dueño del lugar desea realizar una simulación de la ganancia que tendría en una jornada laboral si tuviera 2 vendedores, 3 técnicos y 1 técnico especializado.

## 5. Aeropuerto de Barajas

En el Aeropuerto de Barajas, se desea conocer cuánto tiempo se encuentran vacías las pistas de aterrizaje. Se conoce que el aeropuerto cuenta con un máximo de 5 pistas de aterrizaje dedicadas a aviones de carga y que se considera que una pista está ocupada cuando hay un avión aterrizando, despegando o cuando se encuentra cargando o descargando mercancía o el abordaje o aterrizaje de cada pasajero.

Se conoce que el tiempo cada avión que arriba al aeropuerto distribuye, mediante una función de distribución exponencial con  $\lambda = 20$  minutos.

Si un avión arriba al aeropuerto y no existen pistas vacías, se mantiene esperando hasta que se vacíe una de ellas (en caso de que existan varios aviones en esta situación, pues se establece una suerte de cola para su aterrizaje).

Se conoce además que el tiempo de carga y descarga de un avión distribuye mediante una función de distribución exponencial con  $\lambda = 30$  minutos. Se considera además que el tiempo de aterrizaje y despegue de un avión distribuye normal ( $N(10,5)$ ) y la probabilidad de que un avión cargue y/o descargue en cada viaje corresponde a una distribución uniforme.

Además de esto se conoce que los aviones tienen una probabilidad de tener una rotura de 0.1. Así, cuando un avión posee alguna rotura debe ser reparado en un tiempo que distribuye exponencial con  $\lambda = 15$  minutos. Las roturas se identifican justo antes del despegue de cada avión.

Igualmente cada avión, durante el tiempo que está en la pista debe recargar combustible y se conoce que el tiempo de recarga de combustible distribuye exponencial  $\lambda = 30$  minutos y se comienza justamente cuando el avión aterriza.

Se asume además que los aviones pueden aterrizar en cada pista sin ninguna preferencia o requerimiento.

Simule el comportamiento del aeropuerto por una semana para estimar el tiempo total en que se encuentran vacía cada una de las pistas del aeropuerto.

## 6. Poblado en Evolución

Se desea conocer la evolución de la población de una determinada región.

Se conoce que la probabilidad de fallecer de una persona distribuye uniforme y se corresponde, según su edad y sexo, con la siguiente tabla:

Edad	Hombre	Mujer
0-12	0.25	0.25
12-45	0.1	0.15
45-76	0.3	0.35
76-125	0.7	0.65

Del mismo modo, se conoce que la probabilidad de una mujer se embarace es uniforme y está relacionada con la edad:

Edad	Probabilidad Embarazarse
12-15	0.2
15-21	0.45
21-35	0.8
35-45	0.4
45-60	0.2
60-125	0.05

Para que una mujer quede embarazada debe tener pareja y no haber tenido el número máximo de hijos que deseaba tener ella o su pareja en ese momento. El número de hijos que cada persona desea tener distribuye uniforme según la tabla siguiente:

Número	Probabilidad
1	0.6
2	0.75
3	0.35
4	0.2
5	0.1
más de 5	0.05

Para que dos personas sean pareja deben estar solas en ese instante y deben desear tener pareja. El desear tener pareja está relacionado con la edad:

Edad	Probabilidad Querer Pareja
12-15	0.6
15-21	0.65
21-35	0.8
35-45	0.6
45-60	0.5
60-125	0.2

Si dos personas de diferente sexo están solas y ambas desean querer tener parejas entonces la probabilidad de volverse pareja está relacionada con la diferencia de edad:

Diferencia de Edad	Probabilidad Establecer Pareja
0-5	0.45
5-10	0.4
10-15	0.35
15-20	0.25
20 o más	0.15

Cuando dos personas están en pareja la probabilidad de que ocurra una ruptura distribuye uniforme y es de 0.2. Cuando una persona se separa, o enviuda, necesita estar sola por un período de tiempo que distribuye exponencial con un parámetro que está relacionado con la edad:

Edad	$\lambda$
12-15	3 meses
15-21	6 meses
21-35	6 meses
35-45	1 año
45-60	2 años
60-125	4 años

Cuando están dadas todas las condiciones y una mujer queda embarazada puede tener o no un embarazo múltiple y esto distribuye uniforme acorde a las probabilidades siguientes:

Número de Bebés	Probabilidad
1	0.7 meses
2	0.18
3	0.08
4	0.04
5	0.02

La probabilidad del sexo de cada bebé nacido es uniforme 0,5.

Asumiendo que se tiene una población inicial de M mujeres y H hombres y que cada poblador, en el instante inicial, tiene una edad que distribuye uniforme ( $U(0,100)$ ). Realice un proceso de simulación para determinar como evoluciona la población en un período de 100 años.