

# Proyecto de Simulación de Eventos Discretos

**Sandra Martos Llanes C412**

## Problema 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	0.25	$\mu = 18, \sigma^2 = 3$

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.

### Principales Ideas seguidas para la solución del problema

El problema pide el promedio del tiempo total que demora un barco desde que llega al puerto, y se retira de este luego de realizar un proceso de carga en uno de los tres muelles, para la solución fue utilizado un modelo basado en eventos discretos, declarando 5 eventos:

1. Llega un barco al puerto.

2. El remolcador traslada un barco hacia un muelle vacío.
3. Comienza el proceso de carga de dicho barco en el muelle.
4. Termina el proceso de carga de un barco.
5. Llega al puerto un barco procedente del muelle para continuar su travesía.

Cada vez que sucede un evento da paso a la ocurrencia de uno u otro evento próximo de acuerdo a las condiciones de la simulación. Cada uno tiene un tiempo y un orden específico, y la simulación del problema se basa en recorrer estos eventos ordenados según un tiempo.

Cuando llega un barco al puerto se genera un nuevo evento que indica su arribo y el tipo de barco, si el tiempo de este arribo es mayor que 24, que es la cantidad de horas que se desea analizar en este caso entonces este barco no puede entrar al puerto, si esto sucede con la primera hora de llegada entonces se hace una excepción y se busca una hora adecuada. Luego se chequea donde se encuentra el remolcador y si está ocupado, de acuerdo a esto se toman distintas decisiones; el escenario ideal es que haya barcos para salir del puerto, el trailer esté desocupado y en el puerto, si no está en el puerto se manda a buscar, en el caso de no haber barcos esperando para salir, el remolcador debe chequear si hay barcos en los muelles esperando a ser asistidos.

El segundo evento consiste en que el remolcador salga de del puerto y traslade un barco a un muelle vacío.

El proceso de carga comienza cuando el remolcador llega a los muelles, si su tarea era llevar un barco desde el puerto entonces lo deja y chequea si hay alguno que ya haya terminado de cargar para llevarlo de vuelta al puerto. Si por el contrario el remolcador fue a buscar un barco ya cargado realiza esta tarea sin distracciones.

Cuando termina un proceso de carga se chequea si el remolcador está libre, si lo está entonces se pregunta si está en los muelles, este es el escenario ideal, si por el contrario está en el puerto se le llama para que asista. En el caso de que el remolcador esté ocupado se agrega este barco a una lista de espera para salir del muelle.

El último evento consiste en que el barco llega al puerto procedente del muelle luego de realizar su carga, aquí se marca su tiempo de finalización, y conociendo este y su tiempo de arriba se saca el total de tiempo que estuvo esperando el barco desde sus llegada hasta su partida.

Luego con la información se calcula el promedio de este tiempo general.

### **Modelo de Simulación de Eventos Discretos desarrollado para resolver el problema:**

#### **Variable de tiempo:**

- $t$

#### **Variables contadoras:**

- $C_b$  : cantidad de llegadas al puerto

#### **Variables de estado del sistema:**

- $r\_en\_puerto$ : indica si el remolcador está en el puerto.
- $cola\_en\_puerto$ : indica los barcos que se encuentran en el puerto esperando a ser llevados al muelle.
- $cola\_de\_salida$ : indica los barcos que se encuentran en el muelle esperando a ser atendidos por el remolcador.
- $muelles$ : representa el estado de cada muelle, si se encuentra vacío u ocupado y qué barco está en él.

- remolcador: representa el estado del remolcador, si se encuentra vacío u ocupado y qué barco está en él.

Variables de salida:

- TT: indica por cada barco el tiempo total que pasó desde que llegó al puerto hasta que partió luego de realizar la carga.

Lista de eventos:

- $t_a$  : tiempo del próximo arribo.
- $t_{puerto}$  : indica el tiempo en que el remolcador partirá al muelle desde el puerto con un barco.
- $muelle_i$  : indica el momento en que comienza a cargar un barco en el muelle  $i$
- $t_{salida_i}$  : momento en que termina de cargar un barco en el muelle  $i$
- $t_{muelle}$  : tiempo de llegada al puerto desde el muelle, para continuar su travesía

- Inicialización

$$t = Cb = 0$$

$$\text{Genera } T_0 \text{ y } t_a = T_0$$

$$t_{puerto} = muelle_i = t_{salida_i} = t_{muelle} = \infty$$

- **Caso 1**  $t_a = \min(t_{puerto}, muelle_i, t_{salida_i}, t_{muelle})$

$$t = t_a$$

$$C_b = Cb + 1$$

$$TT(Cb) = (t_a, \text{desconocido})$$

$$\text{Genera } T_t \text{ y } t_a = t + T_t$$

Chequeo el tamaño del barco que arriba

Si no hay muelles vacíos agrego el barco a la cola\_en\_puerto

Si hay algún muelle vacío y hay barcos para salir y el remolcador está en el puerto entonces

$$t_{puerto} = t$$

Si hay algún muelle vacío y hay barcos para salir y el remolcador no está en el puerto

entonces genero  $y = \exp(15min)$  y  $t_{puerto} = t + y$

Si el remolcador está en el puerto y no hay barcos para salir, pero hay barcos en los muelles esperando a ser asistidos, entonces genero  $y = \exp(4)$  y  $t_{muelle_i} = t + y$

- **Caso 2**  $t_{puerto} = \min(t_{puerto}, muelle_i, t_{salida_i}, t_{muelle})$

$$t = t_{puerto}$$

Genero  $Y = \exp(1/2)$  y  $muelle_i = t + Y$ , donde  $i$  es el muelle vacío seleccionado.

$r\_en\_puerto$  se hace Falso

- **Caso 3**  $\min(muelle_i) = \min(t_{puerto}, muelle_i, t_{salida_i}, t_{muelle})$

$$t = \min(muelle_i)$$

Si el remolcador fue a llevar un barco desde el puerto entonces modifico las variables de estado correspondientes, haciendo  $t_{salida_i} = t + tc$ , siendo  $tc$  el tiempo de carga del barco en cuestión

Y de cualquier forma si existe en el muelle un barco esperando por el remolcador para regresar al puerto, entonces  $y = \exp(1)$  y  $t_{muelle} = t + y$

- **Caso 4**  $\min(t_{salida_i}) = \min(t_{puerto}, muelle_i, t_{salida_i}, t_{muelle})$

$$t = \min(t_{salida_i})$$

Si el remolcador está ocupado entonces agrego el barco a la lista de espera para salir al puerto.

Si el remolcador está libre y en el muelle entonces  $y = \exp(1)$  y  $t_{muelle} = t + y$

Si el remolcador está libre, pero no en el muelle,  $y1 = \exp(4)$  y  $y2 = \exp(1)$  y luego hago  $t_{muelle} = t + y1 + y2$

- **Caso 5**  $t_{muelle} = \min(t_{puerto}, muelle_i, t_{salida_i}, t_{muelle})$

$$t = t_{muelle}$$

Guardo el tiempo de finalización del barco que estaba llevando de vuelta al puerto,  $TT(Cb) = (t_a, t)$

Y modifico las variables de estado correspondientes,

### Consideraciones obtenidas a partir de la ejecución de las simulaciones del problema

Después de correr la simulación una cantidad de 10 veces por un período de 24 horas obtenemos un resultado de 22.67 horas como promedio de tiempo general de espera, sin embargo este resultado puede variar en cada ejecución por el carácter aleatorio de las variables que se generan. En la mayoría de las ejecuciones se mantuvo en un rango de [19;25]

### Enlace a github

<https://github.com/smartos99/overloaded-harbor-project>