

Simulación

**Proyecto de simulación de eventos discretos**

Claudia Olavarrieta Martínez

C411

## 1. 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.

## 2. Solución del problema

El comportamiento del puerto se simula como dos servidores en serie, el primero representando al remolcador y el segundo servidor esta compuesto por tres servidores en paralelo

que representa a los tres muelles. El comportamiento en el servidor que representa al remolque no es tan sencillo, pues el procesamiento de los eventos depende de en que posición esté el remolcador. Por lo que existen colas de espera en donde arriban los clientes(barcos) y en los servidores en paralelo(muelles).

Se analizaron los eventos solo en un tiempo determinado, es decir, aquellos barcos que no hayan completado el proceso completo y se hayan retirado del puerto en el tiempo establecido, no se tendrán en cuenta en las consideraciones finales.

El remolcador tiene un comportamiento especial, pues tiene varios estados y según este y el evento a analizar se comporta de diversas formas. Los estados que puede tener el remolcador son valores entre 0 y 4 que representan lo siguiente:

- 0: El remolcador está anclado en los muelles.
- 1: El remolcador se está moviendo de los muelles hasta el puerto.
- 2: El remolcador está anclado en el puerto.
- 3: El remolcador se está moviendo del puerto hacia los muelles.

La solución al problema se implementó de tal forma que podrían simularse los resultados para un mayor número de muelles. Se llevaron variables de tiempo, contadoras y de estado.

#### **Variables de tiempo**

- *time*: Tiempo total
- *time\_arrival*: Tiempo de llegada al puerto.
- *time\_departure*: Tiempo de salida del puerto.
- *time\_dock<sub>i</sub>*: Tiempo de arribo al muelle i.
- *time\_load<sub>i</sub>*: Tiempo de finalización de la carga en el muelle i.
- *time\_tugboat*: Tiempo de arribo al muelle o al puerto del remolque.

#### **Variables contadoras**

- *boat*: Cantidad de botes.
- *boat\_tugboat*: Bote que transporta el remolcador.
- *harbor\_boats*: Cantidad de botes esperando en el muelle.
- *empty\_docks*: Cantidad de muelles vacíos.
- *dock\_wait*: Barcos esperando en los muelles.

- *arrivals*: Diccionario para guardar tiempos de arribo al puerto.
- *dock\_arrivals*: Diccionario para guardar tiempos de arribo a los muelles.
- *departures*: Diccionario para guardar tiempos de salida del puerto.
- *dock\_departures*: Diccionario para guardar tiempos de salida de los muelles.
- *boat\_types*: Diccionario para guardar los tipos de botes que entran al puerto.

### Variables de estado

- *tugboat\_state*: Estado del remolque 0,1,2,3.
- *boat\_dock<sub>i</sub>*: Tipo de bote en el muelle i.

Se manejó en la simulación 5 tipos de eventos, los cuales se describen a continuación y los sucesos que desencadenan cada uno:

- **Arribo al puerto**: Se produce cuando llega un barco nuevo al puerto, se genera el tiempo de la próxima llegada y se pueden desencadenar tres tipos de sucesos:
  - El barco se queda esperando en el puerto(se añade a harbor\_boats) porque el remolque se está moviendo o no hay muelles vacíos o
  - El barco se queda esperando (se añade a harbor\_boats) y el remolcador estaba esperando en los muelles se mueve hacia el puerto (cambia de estado 0 a 1 y se genera el tiempo de movimiento) o
  - El barco es llevado a los muelles por el remolque (se genera el tiempo de movimiento y el tipo del barco).
- **Arribo al muelle**: Se produce cuando llega un barco a alguno de los muelles. Se genera el tiempo de carga para el barco y se disminuye la cantidad de muelles vacíos. Esto desencadena eventos en el remolcador:
  - Llevarse a algún barco de los muelles que ya haya terminado su carga (almacenados en dock\_wait) hacia el puerto o,
  - Quedarse esperando en los muelles (harbor\_boats = 0, no hay botes esperando en el puerto).
- **Termina la carga en un muelle**: Se produce cuando termina el tiempo de carga de algún barco en alguno de los muelles. En este caso esos barcos pueden:
  - Esperar en los muelles por el remolcador (añadirse a dock\_wait) o,
  - Ser llevado al puerto por el remolcador para salir y vaciar el muelle (aumentando empty\_docks). Indica el tiempo de salida del muelle.
  - El remolcador estaba esperando en el puerto, por lo que se mueve al muelle a recoger el barco que ya terminó su carga (se genera el tiempo de movimiento).

- **Salida del puerto:** Fin del proceso del barco en el puerto. Se guardan los tiempos de salida.
- **Arribo del remolcador a los muelles o al puerto:** Existen dos casos, o el remolcador estaba en estado 1 y pasaría a 2, o estaba en 3 y pasaría a 0.
  - Si llega al puerto, puede quedarse ahí o puede llevarse a algún bote a los muelles si estaban esperando ( $\text{harbor\_boats} > 0$ ).
  - Si llega a los muelles se cambia su estado y se queda ahí hasta procesar el próximo evento.

### 3. Resultados obtenidos

Se analizaron dos tiempos en la simulación. El tiempo desde que un barco llega al muelle, realiza el proceso de carga y se retira del muelle, y otro tiempo, más general, desde que llega el barco al puerto hasta que se va. Primeramente analicemos los datos obtenidos en una simulación de 72 horas en el puerto.

Boats	Arrival	Dock Arrival	Dock Departure	Departure	Dock Time	Harbor Time
1	181.535	208.190	930.559	1023.207	722.368	841.671
2	539.260	574.161	2335.195	2368.324	1761.033	1829.064
2	2154.058	2335.195	3416.109	3455.045	1080.914	1300.987
0	3134.685	3169.516	3709.305	3770.307	539.788	635.622
0	3560.052	3594.710	4135.398	4166.806	540.687	606.754
-	-	-	-	-	928.958	1042.820

Los datos se corresponden a la cantidad de minutos pasados desde el inicio del tiempo. En la última fila se muestra el promedio de la cantidad de minutos que se espero en los muelles y el tiempo total. En esta simulación llegaron 8 barcos, de los cuales 5 fueron atendidos en su totalidad antes del final del tiempo. El promedio de tiempo de espera en los muelles fue de aproximadamente 15 horas y 40 minutos y el tiempo de espera total en el puerto oscila alrededor de las 17 horas y 30 minutos. Se puede observar que a medida que avanza el tiempo, y aumenta la llegada de barcos al puerto los tiempos de espera van en ascenso.

En una simulación del puerto en una semana llegaron 14 barcos, de los cuales 11 fueron atendidos en su totalidad antes del final del tiempo. El promedio de tiempo de espera en los muelles fue de aproximadamente 16 horas y el tiempo de espera total en los muelles oscila alrededor de las 19 horas. Se tiene un comportamiento similar al de la simulación ejecutada con solo 72 horas. La tabla siguiente muestra los resultados

Boats	Arrival	Dock Arrival	Dock Departure	Departure	Dock Time	Harbor Time
2	489.4250	652.742	1732.411	1774.654	1079.669	1285.229
2	1470.515	1579.621	2661.149	2706.325	1081.528	1235.810
2	3402.949	3536.654	4617.418	4806.563	1080.764	1403.614
2	4277.787	4278.268	5967.325	5973.983	1689.057	1696.196
1	5809.457	5967.325	6731.995	6760.082	764.670	950.625
0	6365.010	6731.995	7272.326	7310.328	540.331	945.317
1	6808.312	7026.726	7745.992	7783.222	719.266	974.909
0	7444.377	7559.866	8097.546	8212.346	537.679	767.968
2	7850.968	7903.325	8984.045	9006.815	1080.720	1155.846
1	8510.734	8537.158	9494.930	9499.313	957.772	988.578
2	9375.841	9494.930	10573.499	10625.165	1078.568	1249.323
-	-	-	-	-	964.548	1150.310

Las tablas anteriores solo son una muestra de dos simulaciones ejecutadas para observar los cambios y el comportamiento de los tiempos de espera. Como era de esperarse a medida que llegan más barcos al puerto aumentan los tiempos de espera, mas aún si coinciden varios botes esperando en la entrada del puerto.

Realizando unas simulaciones para 180 días se obtuvo como tiempos de espera en muelles valores en el rango de 880-920 lo que es aproximadamente un rango de tiempo de 14 horas a 15 horas y 30 minutos. El tiempo de espera en el puerto estuvo en un rango de 1450-1750 minutos lo que representa un tiempo de 24 a 29 horas aproximado. Para simulaciones de 365 días se obtuvieron valores de espera en los muelles en el rango de 890-935 lo que da como promedio un tiempo de espera de 14 horas a 15 horas y 30 minutos. El tiempo de espera total osciló en su mayoría entre 1600 y 1800 lo que da un tiempo de demora de 26 a 30 horas. Se puede observar que los valores fueron bastante similares siendo ligeramente mas altos los tiempos de espera totales en el puerto en las simulaciones de un año.

**Nota:** Se asume que la media de tiempos ( $\mu$ ) referido en los tiempos de carga de los barcos son en horas pues tiene más sentido en el contexto del problema.

## 4. Consideraciones del Código

En el fichero *simulation.py* se encuentran los métodos para la generación de variables aleatorias. Para las variables con distribución Uniforme y Exponencial se utilizó el método de la transformada inversa y para la distribución Normal, el método de los rechazos. En el archivo *overloaded\_harbor.py* se presenta una clase la cual realiza toda la simulación del puerto y se encuentra un método para exportar los resultados a una tabla en latex.

### 4.1 Dirección del Proyecto

[https://github.com/ClaudiaOM/Overloaded\\_Harbor](https://github.com/ClaudiaOM/Overloaded_Harbor)