

Simulación Proyecto 1

Victor Manuel Cardentey Fundora C411

1 Problema:

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 Principales ideas de la solución:

Se utilizó un modelo de simulación basado en eventos discretos. Durante el proceso de simulación generamos los eventos que conforman la línea temporal de la simulación, determinamos el evento más próximo dentro de la línea temporal y actualizamos las variables de la simulación de acuerdo al tipo de evento ocurrido.

Para este problema definimos cuatro eventos:

1. Arribo de un supertanquero al puerto
2. Arribo de un remolcador al muelle
3. Partida de un remolcador desde el muelle
4. Arribo de un remolcador al puerto

Durante la ocurrencia de cada uno de estos eventos se pueden agregar nuevas ocurrencias de eventos dentro de la línea temporal.

Optamos por definir los eventos en dependencia de los remolcadores en lugar de los supertanqueros debido a que los remolcadores pueden realizar acciones incluso durante la total ausencia de los supertanqueros en el sistema (p.e. desplazarse hacia el puerto para esperar la llegada de barcos) pero los supertanqueros solo pueden modificar el comportamiento del sistema con la asistencia de los remolcadores.

Debido a que se implementará un modelo generalizado del problema para simular la línea temporal utilizaremos una cola de prioridad para almacenar los eventos y poder obtener el próximo evento (mínimo) de forma eficiente. Las colas del puerto y del muelle se asumen cumplen el principio FIFO y que los parámetros de las variables aleatorias que intervienen en la solución están expresadas en horas, para la simulación de las variables aleatorias utilizaremos la función `random.random` de Python.

3 Descripción del Modelo:

1. Variables de tiempo:

- t : Tiempo actual dentro de la simulación.
- T : Duración total de la simulación.

2. Variables contadoras:

- $N_{arrived_port}$: Cantidad de arribos de supertanqueros al puerto
- $N_{arrived_dock}$: Cantidad de arribos de supertanqueros a los muelles
- $N_{departed_dock}$: Cantidad de supertanqueros que han partido desde los muelles hacia el puerto
- $N_{departed_port}$: Cantidad de supertanqueros que han partido desde el puerto

3. Variables de estado:

- *port_queue*: Cola de barcos esperando en el puerto con destino al muelle
- *dock_queue*: Cola de barcos esperando en los muelles con destino al puerto
- *docks*: Asocia cada muelle con el supertanquero que está realizando una operación en dicho muelle, de no encontrarse ningún supertanquero en un muelle su valor será 0
- *tugboats*: Asocia cada remolcador con el supertanquero al que está asistiendo. En caso de no estar asistiendo a ningún supertanquero su valor es 0
- *tugboats_loc*: Asocia cada remolcador con su localización actual, puede ser muelle o puerto, dado que esta información es relevante para el cálculo de tiempos y determinar el comportamiento de los remolcadores
- *ship_type*: Asocia cada supertanquero con su tipo

4. Variables de salida:

- *arrived_port*: Tiempos de los arribos de supertanqueros al puerto
- *arrived_dock*: Tiempos de los arribos de supertanqueros a los muelles
- *departed_dock*: Tiempos de las partidas de los supertanqueros desde el muelle
- *departed_port*: Tiempos de las partidas de los supertanqueros desde el puerto

5. Lista de Estados:

- *t_next_arrive*: Tiempo del próximo arribo de un supertanquero
- *t_arrive_dock*: Tiempos de los arribos de remolcadores a los muelles
- *t_depart_dock*: Tiempos de las partidas de remolcadores desde los muelles
- *t_depart_port*: Tiempos de las llegadas de remolcadores al puerto

6. Inicialización:

- $t = N_arrived_port = N_arrived_dock = N_departed_dock = N_departed_port = 0$
- $port_queue = dock_queue = t_arrive_dock = t_depart_dock = t_depart_port = \emptyset$
- $docks = [0...0_{k_1}]$
- $tugboats = [0...0_{k_2}]$
- $t_next_arrive = exp(\lambda)$

7. Caso 1: $\min(t_next_arrive, t_arrive_dock, t_depart_dock, t_depart_port) == t_next_arrive$

- $t = t_next_arrive$
- Genera el nuevo evento de arribo $t_next_arrive+ = exp(\lambda)$
- $N_arrived_port = N_arrived_port + 1$ y registrar en *arrived_port*

- Si $\exists 0 \in docks \wedge \exists 0 \in tugboats \wedge port_queue = \emptyset$ genera un nuevo evento en t_arrive_dock
 - En otro caso agregar el barco a la cola del puerto $port_queue$
8. **Caso 2:** $\min(t_next_arrive, t_arrive_dock, t_depart_dock, t_depart_port) == \min(t_arrive_dock)$
- $t = \min(t_arrive_dock)$
 - $N_arrived_dock = N_arrived_dock + 1$ y registrar en $arrived_dock$
 - Si el remolcador traía un barco, supongamos el remolcador i , si $tugboats[i] \neq 0$ calcular el tiempo de descarga y generar un nuevo evento en t_depart_dock
 - Reasignar al remolcador i , el cual puede llevar un barco al puerto o ir al puerto a esperar (genera evento en t_depart_port), traer un barco del puerto (genera evento en t_arrive_dock) o quedarse esperando en el puerto (no se generan eventos)
9. **Caso 3:** $\min(t_next_arrive, t_arrive_dock, t_depart_dock, t_depart_port) == \min(t_depart_dock)$
- $t = \min(t_depart_dock)$
 - $N_departed_dock = N_departed_dock + 1$ y registrar en $departed_dock$
 - Si $\exists 0 \in tugboats$ añadir un evento en t_depart_port
 - En otro caso agregar el barco a la cola de los muelles $dock_queue$
10. **Caso 4:** $\min(t_next_arrive, t_arrive_dock, t_depart_dock, t_depart_port) == \min(t_depart_port)$
- $t = \min(t_depart_port)$
 - Si $tugboats[i] \neq 0$ entonces $N_departed_port = N_departed_port + 1$ y registrar en $departed_port$
 - Reasignar el remolcador i

4 Consideraciones obtenidas:

Luego de correr 20 simulaciones por un período de tiempo de un año, llegamos a un resultado de 26.038 hrs como promedio de tiempo de espera, sin embargo, estos resultados, debido al carácter aleatorio de la simulación, variaban con cada ejecución. Por tanto ejecutamos simulaciones para todos posibles períodos de días hasta un máximo de un año, a través de estas simulaciones obtuvimos la siguiente gráfica en la cual podemos observar un comportamiento creciente cuando la cantidad de días simulados es pequeña y luego una estabilización donde los valores de las simulaciones para $T \geq 100$ se encuentran en el rango [26, 28] por lo cual el promedio del tiempo de espera sería ≈ 27 .

También se utilizó el modelo para comprobar que aumentar la cantidad de remolcadores disminuye el promedio del tiempo de espera, tener un remolcador por muelle redujo el promedio de espera para $T \geq 100$ a ≈ 23 . Además se comprobó que tener más remolcadores que muelles reporta bastante poco beneficio por lo que si se tiene una misma cantidad de remolcadores y de muelles sería mejor incrementar la cantidad de muelles para mejorar la eficiencia.

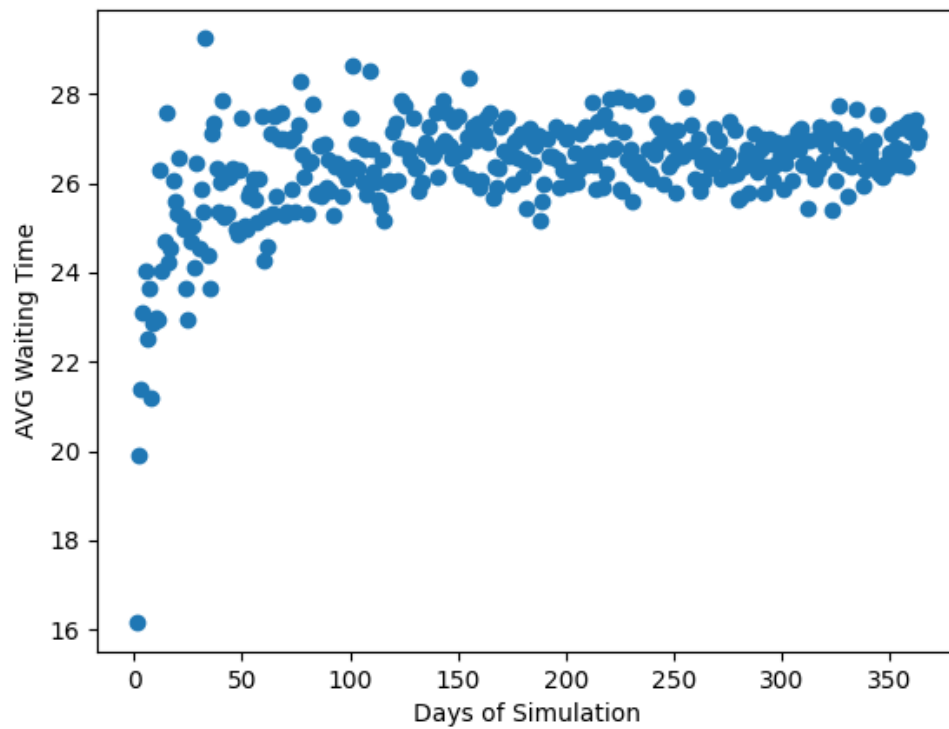
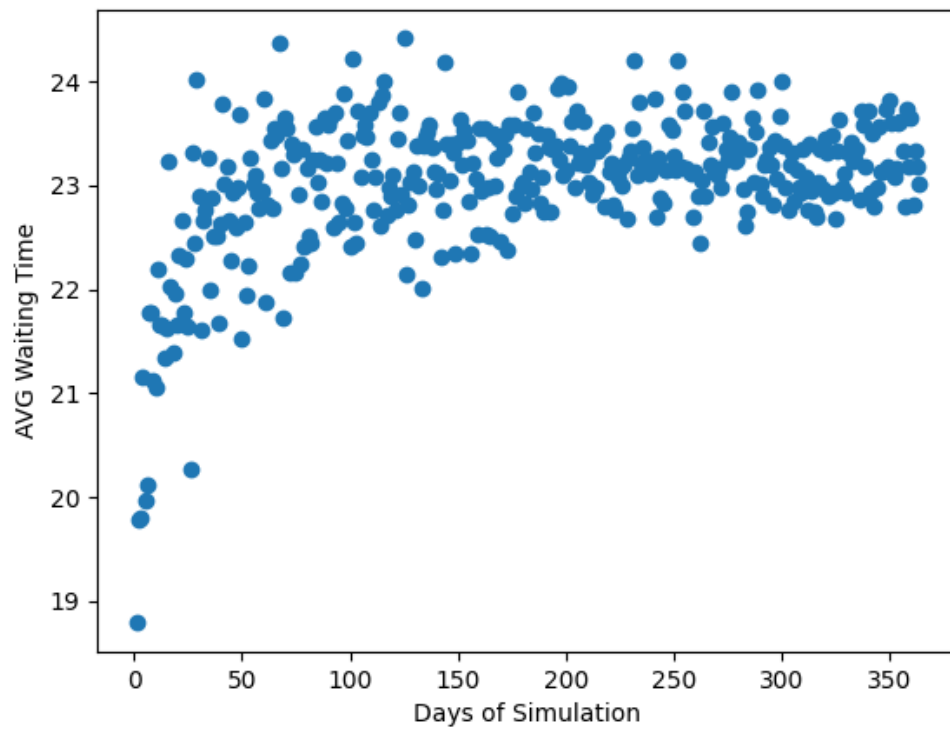


Figure 1: Gráfica 3 muelles y 1 remolcador

5 Github:

<https://github.com/Vitico99/overloaded-harbor-simulation.git>



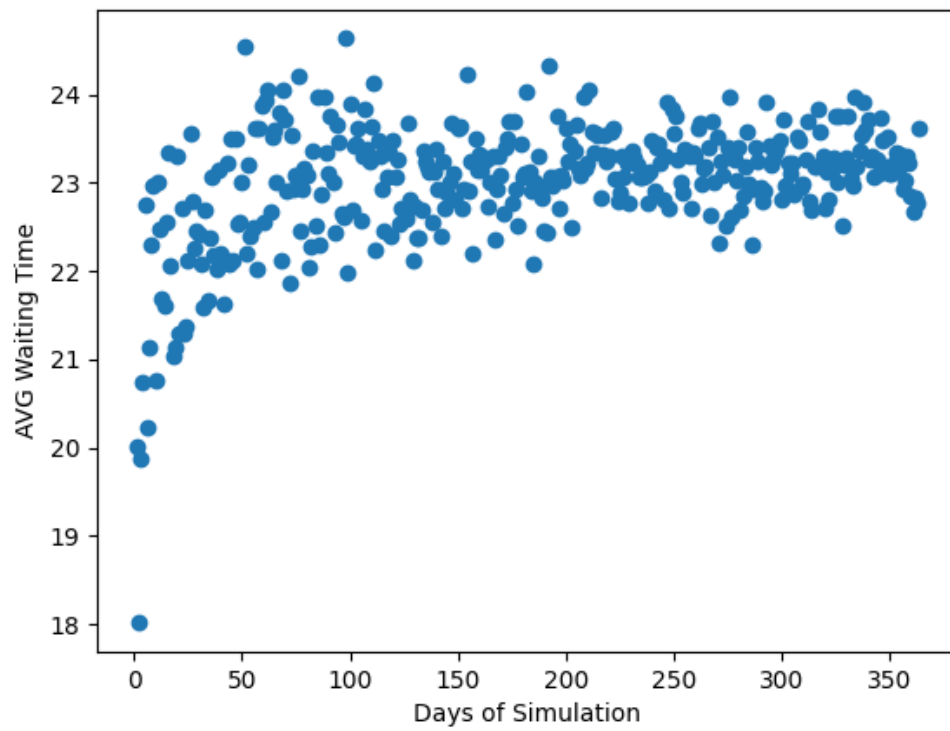


Figure 3: Gráfica 3 muelles y 5 remolcadores