

Universidad de La Habana

FACULTAD DE MATEMÁTICA Y COMPUTACIÓN



# PRIMER PROYECTO DE SIMULACIÓN

Paula Silva Lara C-312  
Ana Melissa Alonso Reina C-312  
Ricardo Cápiro Colomar C-312

[Proyecto en github](#)

# Introducción

En la gestión del tráfico marítimo, la simulación de eventos discretos es una herramienta esencial para entender y optimizar el flujo de barcos. Este proyecto se enfoca en la simulación del paso de barcos a través de un canal marítimo, utilizando distribuciones exponenciales y normales para modelar los tiempos de llegada, transporte y salida de los barcos.

## Objetivos y metas

1. Desarrollar un Sistema de Modelado: Crear un sistema que permita modelar el problema del tráfico marítimo a través de un canal, utilizando técnicas de simulación de eventos discretos.
2. Tomar Decisiones Basadas en Resultados y Análisis Estadístico: Utilizar el sistema de modelado para analizar los resultados obtenidos y, a través de un análisis estadístico de estos resultados, tomar decisiones informadas que mejoren la eficiencia del canal.

## Sistema específico a simular: 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 dividida 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  $\lambda = 4$  mins, y el tiempo que se demora cada barco en entrar al dique, que distribuye de manera exponencial con  $\lambda = 2$  mins independientemente del tamaño de cada barco. Los barcos a entrar en el dique son tomados de manera secuencial de la cola de arribo 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  $\lambda = 7$  mins. 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  $\lambda = 1.5$  mins 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 depende 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	8:00 pm - 8:00 am
Pequeño	$\mu = 5, \sigma^2 = 2$	$\mu = 3, \sigma^2 = 1$	$\mu = 10, \sigma^2 = 2$	$\mu = 6, \sigma^2 = 1$
Mediano	$\mu = 15, \sigma^2 = 3$	$\mu = 10, \sigma^2 = 5$	$\mu = 20, \sigma^2 = 5$	$\mu = 15, \sigma^2 = 4$
Grande	$\mu = 45, \sigma^2 = 3$	$\mu = 35, \sigma^2 = 7$	$\mu = 60, \sigma^2 = 9$	$\mu = 46, \sigma^2 = 6$

- Parámetros del sistema:
  - Cantidad de diques del canal
  - Tiempo de apertura de las compuertas
  - Tiempo que se demora cada barco en entrar al dique
  - Duración de la simulación.
  - Tiempo de la fase de transporte
  - Tiempo de la fase de salida
  - Capacidad de los diques
  - Tiempo de arribo de los barcos
- Variables de interés:
  - Tiempo promedio que demora un barco en atravesar el canal.
  - Cantidad de barcos que atraviesan el canal por día.

## Detalles de implementación

### Métodos y estructuras auxiliares

Se definen métodos de utilidad para la simulación:

- **ExponentialVariable:** Genera un número que cumple con la distribución exponencial con parámetro  $\lambda$ .
- **NormalVariable:** Genera un número que cumple con la distribución normal con los  $\mu$  y  $\sigma$  especificados.
- **put\_eight\_am:** Dado el tiempo de comienzo de un evento, devuelve un horario laborable para el cual el evento puede ser pospuesto.

Se definen estructuras de utilidad para la simulación:

- **class Process:** En el canal marítimo ocurren varios eventos de forma simultánea, por tanto, es necesaria una estructura de datos para poder manejar su realización. Esta clase tiene un identificador y el tiempo actual correspondiente al proceso que representa.
- **class Ship:** Representación de un barco. Tiene identificador, tamaño, el tiempo en que demora en atravesar el canal, el tiempo en el que arriba al canal y el proceso al que pertenece.
- **class Dam:** Representación de un dique. Tiene la cola de barcos que esperan para entrar al dique, los barcos que se encuentran en su interior, el tiempo en que se inició la entrada de barcos al dique y el tiempo en que culminó la salida de estos.

Métodos de **class Dam:**

- ▷ **get\_ships\_into:** Todos los barcos que caben en el dique son movidos de la cola hacia el interior del dique.
- ▷ **is\_empty:** Determina si el dique no tiene barcos en su interior.

- **class Maritime\_Canal:** Clase principal de la simulación. Tiene el tiempo de duración de la simulación, la cantidad de diques del canal, la cantidad de procesos creados, una cola de procesos, los parámetros de la función Normal, los parámetros de la función Exponencial, una lista de barcos que atravesaron el canal, la cantidad de barcos que atravesaron el canal, una lista de diques, el tiempo total de espera de los barcos y una cola de eventos.

Métodos de **class Maritime\_Canal:**

- ▷ **\_generate\_ships\_arrival:** Genera los tiempos de arribo de todos los barcos durante el proceso de simulación.
- ▷ **\_ship\_arrival:** Representa el arribo de un barco al canal.
- ▷ **\_start\_dam:** Lleva a cabo la fase de entrada y de transporte de los barcos al dique.
- ▷ **\_finish\_dam:** Representa la fase de salida de los barcos del dique.
- ▷ **start\_simulation:** se inicializa el canal y mientras existan eventos en la cola de eventos, estos son ejecutados

## Simulación del problema

Para llevar a cabo el proceso de simulación se utiliza una cola de eventos.

- Se crea un canal
- Se inicia la simulación
- Inicialmente, la cola de eventos solo contiene el arribo de todos los barcos. A medida que transcurre la simulación otros eventos son añadidos (solo son añadidos eventos dentro del tiempo de la simulación). Mientras no se cumpla el caso de parada se simula el paso de barcos a través del canal. Para esto se toma el evento de la cola más próximo a ocurrir.

### EVENTOS

- En caso de ser la llegada de un barco al canal **"SHIP ARRIVAL"**, el barco es insertado en la cola de barcos que esperan para entrar al primer dique y en caso de no tener barcos delante se crea un nuevo proceso y se genera el evento de entrada al primer dique con ese proceso.
- En caso de ser la entrada a un dique **"START DAM"**: son puestos dentro del dique los barcos que se encuentran en la cola para los que el dique tiene capacidad y se genera un evento de salida de este dique.
- En caso de ser la salida de un dique **"FINISH DAM"** : se genera un proceso de entrada al dique siguiente con este mismo proceso y los barcos que se encontraban en el interior del dique son puestos en la cola del dique siguiente. Se verifica si hay barcos en la cola de entrada al dique y en caso afirmativo, se genera un evento de entrada al dique con el proceso anterior.

**NOTA:** Si un evento que va a ser generado tiene su tiempo de inicio en un horario no laborable, se pospone para las 8 am.

## Hallazgos de la simulación

Tras llevar a cabo la simulación durante 30 días se muestran los siguientes resultados:

- Cantidad de barcos que atraviesan el canal por día = 428
- Media del tiempo que demora un barco en atravesar el canal = 5 horas

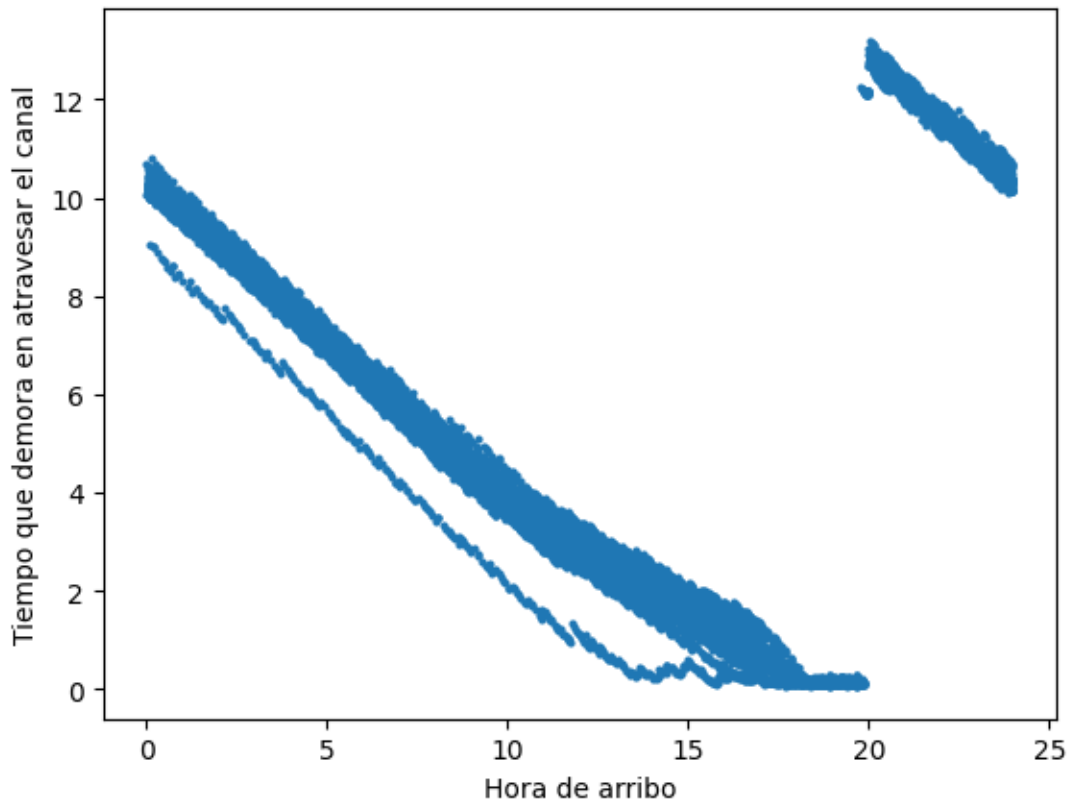


Figure 1: Tiempo por barco en atravesar el canal.

## Interpretación de los resultados

En las Figuras 1 y 2 se muestra el comportamiento de diferentes variables del sistema.

En la Figura 1 puede apreciarse que los barcos que arriban al canal en el horario de 8pm a 8am son los que demoran más en atravesar el canal, ya que estos deben esperar hasta las 8am para continuar su travesía.

En la Figura 2, donde se muestra la proporción de cantidad de barcos que atraviesan el canal, en los diferentes horarios del día durante 30 días, resulta peculiar que el porcentaje de barcos en el horario de 11am a 5pm casi iguala al porcentaje del horario nocturno no laborable, a pesar de que este último dobla al primero en cantidad de horas. Con lo que se arriba a la conclusión de que el horario de 11am a 5pm es un horario convulso.

Puede apreciarse que la cantidad de barcos que atraviesan el canal a diario es relativamente grande, a pesar de que el tiempo en que se demoran los barcos en atravesar el canal de forma general no es un valor pequeño. Esto nos lleva a pensar que esa cantidad notable de barcos que atravisan el canal a diario es debido a que la capacidad de los diques es grande, por lo que una gran cantidad de barcos pudieran estar atravesando el canal a la vez.

## Formulación de hipótesis de la simulación

En esta sección se presentan las hipótesis que guiarán la simulación del canal marítimo, con el objetivo de aumentar la cantidad barcos que atraviesan el canal a diario. Se plantea la siguiente hipótesis:

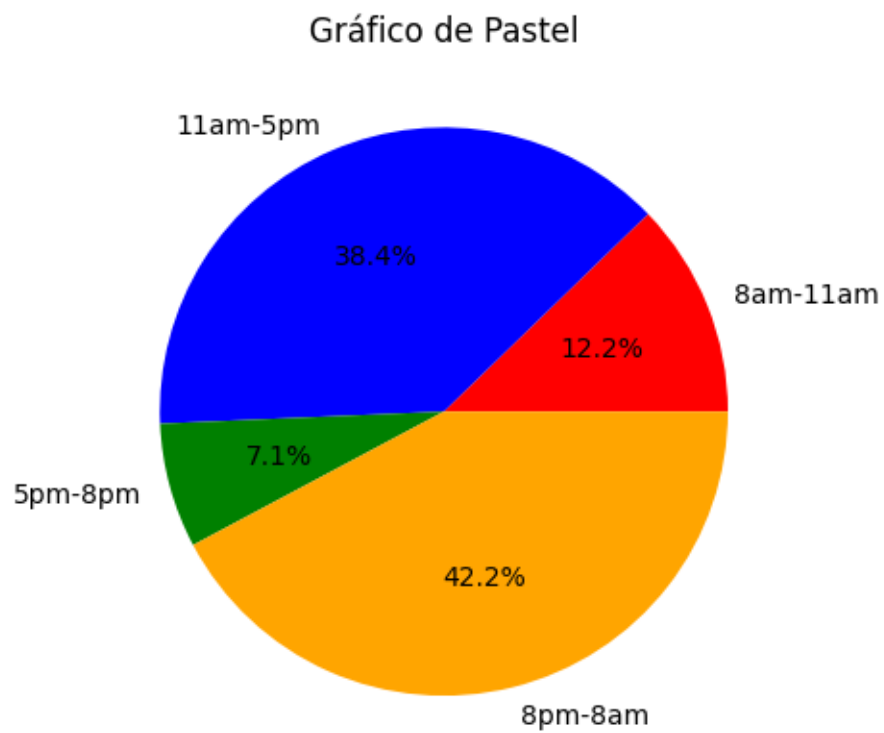


Figure 2: Cantidad de barcos que arriban al canal por horario.

### Hipótesis 1:

**Descripción:** Se propone que aumentar la media de la distribución de los barcos pequeños y disminuir la media de la distribución de los grandes en una pequeña proporción, disminuye la cantidad de barcos que atraviesan el canal.

### Experimentos realizados para Validar la Hipótesis 1:

Para comprobar la hipótesis aumentamos en un 20%  $\mu$  en los barcos pequeños y disminuimos en un 20%  $\mu$  en los barcos grandes.

Así queda la tabla de parámetros con las nuevas modificaciones:

Tamaño	8:00 am - 11:00 am	11:00 am - 5:00 pm	5:00 pm - 8:00 pm	8:00 pm - 8:00 am
Pequeño	$\mu = 6.2, \sigma^2 = 2$	$\mu = 3.6, \sigma^2 = 1$	$\mu = 12, \sigma^2 = 2$	$\mu = 7.2, \sigma^2 = 1$
Mediano	$\mu = 15, \sigma^2 = 3$	$\mu = 10, \sigma^2 = 5$	$\mu = 20, \sigma^2 = 5$	$\mu = 15, \sigma^2 = 4$
Grande	$\mu = 36, \sigma^2 = 3$	$\mu = 28, \sigma^2 = 7$	$\mu = 48, \sigma^2 = 9$	$\mu = 36.8, \sigma^2 = 6$

Tras simular 7 veces la travesía de los barcos en su intento por cruzar el canal durante 30 días estos fueron los resultados obtenidos respecto a la cantidad total de barcos que atravesaban el canal con los viejos y los nuevos parámetros:

Viejos Parámetros	Nuevos Parámetros
12814	11569
12912	11628
12888	11667
12843	11667
12908	11636
12820	11640
12807	11642

Con lo que se concluye que con pequeños cambios en los parámetros, pudiera verse afectado el rendimiento del canal.

Luego se realizó una prueba t de Student para ver si la diferencia resultó significativa.

La diferencia resultó significativa, lo que quiere decir que bajo el nivel de confianza elegido, la evidencia de los datos sugiere que hay una diferencia real entre los barcos que atraviesan el canal para diferentes configuraciones de los parámetros. En otras palabras, es poco probable que esta diferencia sea debido al azar. Dado que el resultado es significativo se rechaza la hipótesis nula, la cual es que no hay diferencia significativa en la cantidad de barcos que atraviesan el canal con diferentes parámetros. Esto podría implicar que algunos ajustes específicos en la configuración de los parámetros de la función Normal podrían optimizar o empeorar el flujo de barcos a través del canal.