

# Informe de Laboratorio de Simulación Computacional

Elaborado por: David Alexander Acosta Ojeda cod,160004400

Fecha: 09/09/2023

## 1. Introducción

En este informe, exploraremos el mundo de la simulación computacional a través de la práctica de un caso específico: la simulación de un sistema de cola simple con un límite máximo de clientes atendidos. A través de la generación de variables aleatorias, el cálculo de medidas de desempeño y la repetición de simulaciones, analizaremos el comportamiento de este sistema y evaluaremos su precisión. La simulación computacional desempeña un papel esencial en la ingeniería y la toma de decisiones, y esta práctica representa un primer paso en nuestra comprensión de esta poderosa herramienta.

## 2. Consulta Previa

- ¿Qué es una variable aleatoria?

Una variable aleatoria es una variable en estadísticas y probabilidad que toma valores numéricos como resultado de un experimento aleatorio o proceso incierto. Su valor no se conoce con certeza, pero se rige por una distribución de probabilidad.

- ¿En qué consiste la función de distribución de probabilidad uniforme discreta?

La función de distribución de probabilidad uniforme discreta es un modelo en el que todos los valores posibles de una variable aleatoria tienen la misma probabilidad de ocurrir. En otras palabras, es una distribución donde cada valor es igualmente probable.

- ¿En qué consiste un sistema de cola simple?

Un sistema de cola simple es un modelo utilizado en la teoría de colas que representa una línea de espera donde los clientes llegan, son atendidos por un servidor y luego salen. Este sistema tiene un solo servidor y sigue reglas específicas para atender a los clientes.

- ¿Qué es y cómo se calcula la media de la muestra (sample mean)?

La media de la muestra es un estadístico que representa el promedio de un conjunto de datos muestrales. Se calcula sumando todos los valores en la muestra y dividiendo el resultado por el número de elementos en la muestra.

- ¿Qué es y cómo se calcula la desviación estándar de la muestra (sample standard deviation)?

La desviación estándar de la muestra es una medida de dispersión que indica cuán dispersos están los datos en una muestra en relación con la media de la muestra. Se calcula como la raíz cuadrada de la varianza de la muestra y mide la distancia promedio entre cada punto de datos y la media de la muestra.

- ¿Qué es un intervalo de confianza?

Un intervalo de confianza es un rango de valores que se utiliza para estimar un parámetro desconocido de una población a partir de una muestra de datos. Proporciona una medida de la incertidumbre en la estimación y se construye en función de un nivel de confianza predefinido, generalmente del 95% o 99%, que representa la probabilidad de que el parámetro poblacional esté dentro del intervalo.

### **3. Fundamento teórico**

La fundamentación teórica y marco conceptual necesarios para el desarrollo de la práctica se encuentra en la presentación realizada en clase 2. Principles of Simulation, y en el Capítulo 1 (Chapter 1) del libro [Banks1998], en especial de la siguientes secciones:

1.2. Definition of simulation

1.11 Experimentation and output analysis

1.11.1 Statistical Confidence and Run Length

### **4. Equipos, Materiales y Reactivos**

Para llevar a cabo la práctica de simulación computacional, se requieren los siguientes elementos:

- Equipo de Cómputo:

Se utiliza un equipo de cómputo que puede ser una computadora personal, portátil o una estación de trabajo con acceso a Internet. Este equipo es esencial para realizar las simulaciones y cálculos necesarios.

- Archivo Excel en Google Drive (Google Sheets):

Se emplea un archivo Excel alojado en Google Drive o Google Sheets. Este archivo contiene datos de ejemplo y se utiliza como parte de la simulación.

- Google Colaboratory (Colab):

Se accede a Google Colaboratory (Colab), una plataforma en línea para desarrollar y ejecutar código en Python. Se requiere acceso desde una cuenta institucional de Unillanos para utilizar Colab.

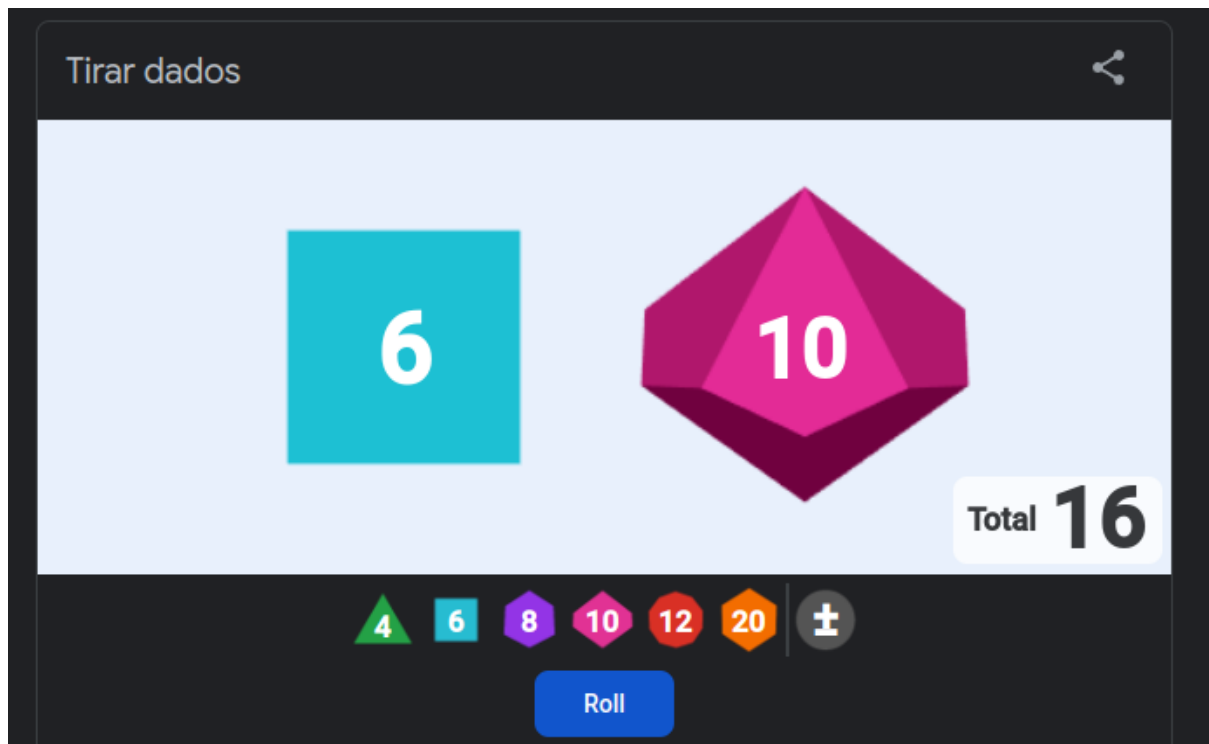
### **5. Procedimiento o Metodología**

#### **5.1 Generación de Valores Aleatorios**

Los valores aleatorios necesarios se generaron utilizando dos dados virtuales en línea: uno de 6 caras y otro de 10 caras.

- El dado de 6 caras determinó los tiempos entre llegadas, representando minutos con valores de 1 a 6.
- El dado de 10 caras determinó los tiempos de servicio, representando minutos con valores de 1 a 10.

Cada lanzamiento de estos dados virtuales proporcionó un valor aleatorio, lo que permitió obtener datos aleatorios controlados para la simulación del sistema de cola simple.



## 5.2 Cálculo de las Medidas de Desempeño

El sistema de cola simple simulado se evaluó con la “run1” y se obtuvieron las siguientes medidas de desempeño, que se explican a continuación:

- **Tiempo Promedio en el Sistema:**

Este valor indica el tiempo que un cliente tarda, en promedio, desde que llega al sistema hasta que sale después de recibir el servicio. El valor obtenido fue de 7.45 minutos, lo que significa que este es el tiempo medio que los clientes permanecen en el sistema.

- **Porcentaje de Tiempo Inactivo:**

Este valor muestra la proporción de tiempo que el servidor no estuvo atendiendo a ningún cliente. El valor obtenido fue del 22%, lo que implica que hubo un tiempo ocioso del sistema durante la simulación.

- **Tiempo Promedio de Espera por Cliente:**

Este valor representa el tiempo que los clientes esperan, en promedio, antes de ser atendidos. El valor obtenido fue de 3.3 minutos, lo que refleja el tiempo que los clientes pasan en la cola de espera.

- **Fracción que Debe Esperar:**

Este valor indica el porcentaje de clientes que no fueron atendidos inmediatamente al llegar al sistema. El valor obtenido fue del 60%, lo que significa que más de la mitad de los clientes tuvieron que esperar en la cola.

- **Tiempo Promedio de Espera de Quienes Esperaron:**

Este valor muestra el tiempo promedio de espera entre los clientes que tuvieron que esperar. El valor obtenido fue de 5.5 minutos, lo que indica que la espera media para estos clientes fue de 5.5 minutos.

### **5.3 Repetir las Simulaciones**

Después de hacer el procedimiento 10 veces, vimos que el sistema de cola simple se comporta diferente cada vez. a continuación las apreciaciones que se encontraron

#### **Similitudes:**

- El “Tiempo Promedio en el Sistema” cambia un poco, pero más o menos se queda entre 4 y 7 minutos.
- El “Porcentaje de Tiempo Inactivo” también cambia, pero la mayoría de las veces, el sistema está inactivo entre el 20% y el 40% del tiempo.
- La “Fracción que Debe Esperar” anda por el 0.3 y el 0.6, o sea que como el 30% al 60% de los clientes tienen que esperar en la cola.

#### **Diferencias:**

- Los números exactos de las medidas de desempeño son muy diferentes en cada ejecución. Por ejemplo, el “Tiempo Promedio en el Sistema” va desde casi 3.4 minutos hasta 7.45 minutos.
- El “Tiempo Promedio de Espera por Cliente” también varía mucho, desde 0.2 minutos hasta 3.3 minutos.
- El “Tiempo Promedio de Espera de Quienes Esperaron” va desde más o menos 1.4 minutos hasta 5.5 minutos.

Estos cambios se deben a que los valores aleatorios que usamos para los tiempos entre llegadas y los tiempos de servicio son diferentes cada vez que hacemos la simulación. Cada vez que corremos el sistema de cola simple, usamos valores aleatorios nuevos, y eso hace que el sistema se vea diferente, estos resultados nos muestran cómo diferentes ejecuciones pueden afectar a los clientes en el sistema.

### **5.4 Cálculo del Intervalo de Confianza**

#### **5.4.1 Average time in system:**

- La media de la muestra (sample mean)= 5.029999999999999
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 1.38628199792747
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza =0.9916864008151451
- La media anchura half-width) para 99% de confianza =1.4246656982845234

- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=  
(4.038313599184854,6.0216864008151445)
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(3.6053343017154758,6.454665698284523)

El promedio del tiempo en el sistema es de aproximadamente 5.03 unidades de tiempo, con una desviación estándar de aproximadamente 1.39 unidades de tiempo. Esto significa que en promedio, los elementos pasan alrededor de 5.03 unidades de tiempo en el sistema, y la variabilidad en estos tiempos es relativamente alta.

#### **5.4.2 Percent idle time:**

- La media de la muestra (sample mean)= 35.3
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 9.274217547109357
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 6.634375569631203
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=  
(28.665624430368794,41.9343755696312)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 9.531004252777157
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(25.76899574722284,44.831004252777156)

El porcentaje de tiempo inactivo tiene un promedio de aproximadamente 35.3%, con una desviación estándar de aproximadamente 9.27%. Esto sugiere que, en promedio, alrededor del 35.3% del tiempo está inactivo, pero la variabilidad en este porcentaje es relativamente alta.

#### **5.4.3 Average waiting time per customer:**

- La media de la muestra (sample mean)= 1.4100000000000001
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 1.121209664206972
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 0.8020650763112219
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=  
(0.6079349236887782,2.212065076311222)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 1.1522539797594304
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(0.2577460202405697,2.5622539797594306)

El tiempo promedio de espera por cliente es de aproximadamente 1.41 unidades de tiempo, con una desviación estándar de aproximadamente 1.12 unidades de tiempo. Esto significa que, en promedio, los clientes esperan alrededor de 1.41 unidades de tiempo, con cierta variabilidad en estos tiempos de espera.

#### **5.4.4 Fraction having to wait:**

- La media de la muestra (sample mean)= 0.38
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 0.17826322609494585
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 0.1275218298644043
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=(0.2524781701355957,0.5075218298644043)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 0.18319902001374422
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=(0.1968009799862558,0.5631990200137442)

La fracción de clientes que tuvieron que esperar tiene un promedio de aproximadamente 0.38, con una desviación estándar de aproximadamente 0.18. Esto significa que, en promedio, alrededor del 38% de los clientes tuvieron que esperar, con cierta variabilidad en esta fracción.

#### **5.4.5 Average waiting time of those who waited:**

- La media de la muestra (sample mean)= 3.3951437999999996
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 1.322746060168836
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 0.9462355289633333
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=(2.4489082710366663,4.341379328963333)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 1.3593705626134314
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=(2.035773237386568,4.754514362613431)

El tiempo promedio de espera de aquellos que tuvieron que esperar es de aproximadamente 3.40 unidades de tiempo, con una desviación estándar de aproximadamente 1.32 unidades de tiempo. Esto significa que, entre los clientes que tuvieron que esperar, el tiempo promedio de espera es de 3.40 unidades de tiempo, con cierta variabilidad en estos tiempos de espera.

- ¿Qué análisis puede realizar de los intervalos de confianza identificados para cada medida de desempeño para el 95% y 99% de confianza?

Estos intervalos de confianza indican que estamos bastante seguros de que la verdadera media del tiempo en el sistema se encuentra dentro de estos rangos. Cuanto más alto es el nivel de confianza (99%), el intervalo se vuelve más ancho, lo que significa que estamos siendo más conservadores en nuestras estimaciones.

## **5.5 Repetir los Pasos Anteriores con 200 Clientes**

### **a. 5.2 Cálculo de las Medidas de Desempeño**

El sistema de cola simple simulado se evaluó con la “run1” y se obtuvieron las siguientes medidas de desempeño, que se explican a continuación:

- Average time in system (Tiempo Promedio en el Sistema): El tiempo promedio que los clientes pasan en el sistema es de aproximadamente 4.665 unidades de tiempo.
- Percent idle time (Porcentaje de Tiempo de Inactividad): El sistema está inactivo aproximadamente el 35% del tiempo, lo que significa que el servidor no está ocupado durante ese período.
- Average waiting time per customer (Tiempo Promedio de Espera por Cliente): En promedio, los clientes esperan alrededor de 1.085 unidades de tiempo antes de ser atendidos.
- Fraction having to wait (Fracción que tuvo que Esperar): Alrededor del 34.5% de los clientes tuvieron que esperar antes de ser atendidos.
- Average waiting time of those who waited (Tiempo Promedio de Espera de Aquellos que Esperaron): Para los clientes que tuvieron que esperar, el tiempo promedio de espera fue de aproximadamente 3.145 unidades de tiempo.

### **b. 5.3 Repetir las simulaciones**

Los resultados después de hacer el experimento 10 veces muestran que el sistema de cola simple tiene resultados diferentes cada vez que lo ejecutamos. Aquí te cuento lo que notamos:

#### **Similitudes:**

- En general, el tiempo promedio que pasa un cliente en el sistema varía, pero casi siempre está entre 4 y 5.6 unidades de tiempo.
- A veces, el sistema está inactivo entre el 29% y el 41% del tiempo, pero esto cambia un poco en cada ejecución.
- Alrededor del 31% al 44% de los clientes tienen que esperar en la cola en la mayoría de los casos.

## Diferencias:

- Los números específicos de las medidas de desempeño cambian mucho de una ejecución a otra. Por ejemplo, el tiempo promedio en el sistema varía de aproximadamente 4.235 a 5.595 unidades de tiempo.
- El tiempo promedio de espera por cliente también varía mucho, entre 0.905 y 2.0 unidades de tiempo.
- El tiempo promedio de espera de quienes esperaron cambia de alrededor de 2.78 a 4.79 unidades de tiempo.

### c. 5.4 Cálculo del Intervalo de Confianza

#### 5.4.1 Average time in system:

- La media de la muestra (sample mean)= 4.912000000000001
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 0.44546604808896484
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza =0.31866721386784164
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=(4.59333278613216,5.230667213867842)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza =0.45780021627022266
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=(4.454199783729778,5.369800216270224)

La media de la muestra representa un valor promedio del tiempo que un cliente pasa en el sistema de cola. En este caso, el valor es aproximadamente 4.912 unidades de tiempo.

La desviación estándar de la muestra mide la dispersión de los datos en torno a la media.

Con una desviación estándar baja de aproximadamente 0.4455, los datos tienden a agruparse cerca de la media, lo que indica que el tiempo en el sistema varía relativamente poco en comparación con la media.

#### 5.4.2 Percent idle time:

- La media de la muestra (sample mean)= 35.6
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) =3.2386554137309647
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza =2.3167945162131307
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=(33.28320548378687,37.91679451621313)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 3.328328062691456



- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(32.27167193730855,38.928328062691456)

La media de la muestra representa el porcentaje promedio de tiempo en el que el sistema se encuentra inactivo. En este caso, el valor es aproximadamente 35.6%, lo que indica que, en promedio, el sistema está inactivo durante alrededor del 35.6% del tiempo.

La desviación estándar de la muestra mide la variabilidad de este porcentaje de tiempo inactivo. Con una desviación estándar de aproximadamente 3.2387, los valores tienden a variar considerablemente alrededor de la media, lo que sugiere que el sistema puede experimentar fluctuaciones significativas en su actividad.

#### **5.4.3 Average waiting time per customer:**

- La media de la muestra (sample mean)= 1.421
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) =  
0.41759762664289385
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 0.29873134612839797
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=  
(1.122268653871602,1.719731346128398)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 0.4291601674497724
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(0.9918398325502276,1.8501601674497725)

La media de la muestra representa el tiempo promedio que un cliente debe esperar en la cola antes de ser atendido. En este caso, el valor es aproximadamente 1.421 unidades de tiempo.

La desviación estándar de la muestra mide la variabilidad en el tiempo de espera de los clientes. Con una desviación estándar de aproximadamente 0.4176, los tiempos de espera tienden a variar moderadamente alrededor de la media.

#### **5.4.4 Fraction having to wait:**

- La media de la muestra (sample mean)= 0.382
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) =  
0.04404543109109048
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 0.03150820330666971
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=  
(0.3504917966933303,0.4135082033066697)

- La media anchura half-width) para 99% de confianza = 0.045264971294039946
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(0.33673502870596006,0.42726497129403995)

La media de la muestra representa la fracción promedio de clientes que deben esperar en la cola. En este caso, el valor es aproximadamente 0.382, lo que indica que alrededor del 38.2% de los clientes deben esperar en la cola.

La desviación estándar de la muestra mide la variabilidad en esta fracción de clientes que debe esperar. Con una desviación estándar muy baja de aproximadamente 0.0440, la mayoría de las ejecuciones de la simulación tienen resultados similares en términos de la fracción que debe esperar.

#### **5.4.5 Average waiting time of those who waited:**

- La media de la muestra (sample mean)= 3.6643299436
- La desviación estándar de la muestra (sample standard deviation) = 0.7484228932072433
- La media anchura (half-width) para 95% de confianza = 0.5353894852288059
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 95%de confianza=  
(3.128940458371194,4.199719428828805)
- La media anchura half-width) para 99% de confianza =0.7691454014098845
- Los intervalos de confianza (confidence intervals) para 99% de confianza=  
(2.8951845421901155,4.433475345009884)

La media de la muestra representa el tiempo promedio de espera de aquellos clientes que efectivamente tuvieron que esperar en la cola. En este caso, el valor es aproximadamente 3.6643 unidades de tiempo.

La desviación estándar de la muestra mide la variabilidad en el tiempo de espera de este grupo de clientes. Con una desviación estándar de aproximadamente 0.7484, los tiempos de espera de quienes esperaron pueden variar considerablemente alrededor de la media.

- ¿Qué análisis puede realizar de los intervalos de confianza identificados para cada medida de desempeño para el 95% y 99% de confianza?

Estos intervalos de confianza indican que estamos bastante seguros de que la verdadera media del tiempo en el sistema se encuentra dentro de estos rangos. Cuanto más alto es el nivel de confianza (99%), el intervalo se vuelve más ancho, lo que significa que estamos siendo más conservadores en nuestras estimaciones.

**5.5.1** ¿Cuál combinación de número de clientes, repeticiones y porcentaje de confianza tiene la menor desviación estándar de la muestra y el menor rango del intervalo de confianza?

Después de evaluar todas las combinaciones, se puede observar que las combinaciones para 200 clientes y un porcentaje de confianza del 99% tienen las menores desviaciones estándar de la muestra y los rangos de intervalo de confianza más estrechos en general. Por lo tanto, la combinación de "200 clientes" y "99% de confianza" es la que cumple con los criterios de menor desviación estándar y menor rango del intervalo de confianza.