

INFORME DE LABORATORIO DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL:  
SIMULACIÓN AD HOC

ANDRÉS EDUARDO OSUNA TORRES

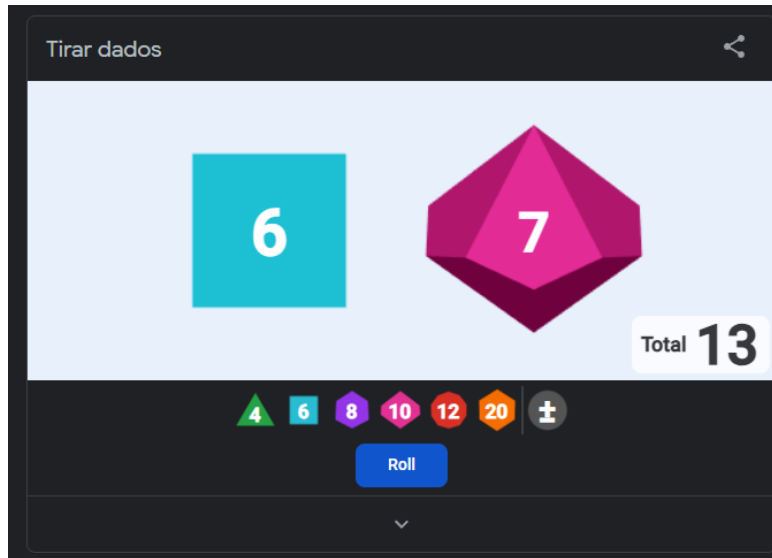
UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E  
INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA DE  
SISTEMAS  
SIMULACION COMPUTACIONAL  
VILLAVICENCIO

2023

## DESARROLLO

### 1. Generación de valores aleatorios

En un principio se realizó la recolección de valores aleatorios usando los dados de Google



Estos datos se ingresaron en el archivo “Ejemplo fila banco.xlsx”. Se realizó una copia de este archivo y se llenaron los campos “Time between arrivals” y “service time” para 20 clientes.

Customer	Time Between	Arrival Time	Service Time	Service Begins	Time Service	Time in System	Idle Time	Time in Queue
1	-	0	5	0	5	5	0	0
2	7	7	4	7	11	4	2	0
3	10	17	4	17	21	4	6	0
4	1	18	2	21	23	5	0	3
5	3	21	2	23	25	4	0	2
6	10	31	6	31	37	6	6	0
7	9	40	4	40	44	4	3	0
8	1	41	3	44	47	6	0	3
9	3	44	2	47	49	5	0	3
10	6	50	4	50	54	4	1	0
11	4	54	6	54	60	6	0	0
12	7	61	4	61	65	4	1	0
13	5	66	5	66	71	5	1	0
14	3	69	2	71	73	4	0	2
15	9	78	6	78	84	6	5	0
16	10	88	6	88	94	6	4	0
17	6	94	4	94	98	4	0	0
18	1	95	6	98	104	9	0	3
19	1	96	5	104	109	13	0	8
20	2	98	6	109	115	17	0	11
					Sum	121	29	35

### 2. Calcular las medidas de desempeño

Con estos datos, se calcularon las siguientes medidas de desempeño: “Average Time in System”, “Percent idle time”, “Average waiting time per customer”, “Fraction having to wait” y “Average waiting time of those who waited”

Average time in system:	6,05
Percent idle time:	25%
Average waiting time per customer:	1,75
Fraction having to wait:	0,4
Average waiting time of those who waited	4,375

A continuación, se realiza un análisis de cada medida de desempeño calculada:

1. Average Time in System: El tiempo promedio que un cliente pasa en el sistema, desde el momento en que llega al banco hasta que completa su transacción y se va, es de aproximadamente 6.05 minutos. Esto puede indicar que el proceso es eficiente, ya que la media de duración del cliente en el sistema no es muy alta.

2. Percent Idle Time: El 25% de tiempo inactivo sugiere que el cajero está inactivo durante una parte más o menos importante del tiempo de simulación. Esta es una oportunidad de mejora en cuanto a la eficiencia del tiempo disponible del cajero.

3. Average Waiting Time per Customer: En promedio, cada cliente tiene que esperar aproximadamente 1.75 minutos antes de ser atendido por el cajero. Si bien no es un tiempo de espera muy alto, siempre cabe la posibilidad de poder mejorar la eficiencia del sistema para poder reducir este tiempo.

4. Fraction Having to Wait: El 40% de los clientes deben esperar en la fila antes de ser atendidos. Este número puede llegar a ser menor dependiendo del tiempo de atención del cliente que esté en ese momento en el cajero.

5. Average Waiting Time of Those Who Waited: Para aquellos clientes que tuvieron que esperar en la fila, el tiempo promedio de espera es de aproximadamente 4.375 minutos. Esto indica que algunos clientes tienen que esperar más tiempo que otros.

### 3. Repetir las simulaciones

Se realizó el mismo procedimiento 9 veces más, para un total de 10 “runs” realizadas. Se calcularon las mismas medidas de desempeño para cada run y se acumularon en una hoja de Excel llamada “10 runs”

Run	Average time in system:	Percent idle time:	Average waiting time per customer:	Fraction having to wait:	Average waiting time of those who waited:
1	6,05	25%	1,75	0,4	4,375
2	4,7	24%	1,1	0,35	3,142857143
3	4,25	43%	0,8	0,35	2,28571
4	6,8	24%	3,1	0,65	4,769230769
5	2,55	62%	0	0	0
6	3,55	43%	0,6	0,2	3
7	3,65	35%	0,1	0,1	1
8	4,15	31%	0,5	0,5	2,5
9	3,35	44%	0,25	0,2	1,25
10	7,1	14%	2,95	0,75	3,93333333

Los resultados obtenidos son muy diversos entre sí, presentando, por ejemplo, tiempos promedios en el sistema desde los 2,5 minutos hasta los 7, o como el tiempo de espera por cliente desde los 0 hasta casi 3 minutos. Se puede decir que los resultados no son muy concluyentes. Si bien no son demasiado distantes entre sí, tampoco presentan una cercanía constante para cada medida de desempeño.

#### 4. Calcular el intervalo de confianza de las medidas de desempeño

Teniendo las medidas de desempeño, se calculó para cada medida la muestra, la desviación estándar, la media anchura y los intervalos de confianza. Esto se realizó usando un código de Python en Google Collab.

```
[ ] alpha = 0.05
confidence = (1-alpha)*100

mean = np.mean(M)
var = np.var(M, ddof=1)
desv = np.sqrt(var)

tval = stats.t.ppf(1-(alpha/2), reps-1)
hval = tval*(desv/np.sqrt(reps))

display(Markdown(
    rf"""
    ${confidence}% confidence

    $\bar{\{X\}} = \{mean\}$

    $S = \{desv\}$

    $t_{\{n-1, 1-\frac{\{\alpha\}}{2}\}} = t_{\{\{reps-1\}, \{1-\alpha/2\}\}} = \{tval\}$

    $h = \{hval\}$

    Intervalo de confianza : $C.I. = (\bar{\{X\}}-h, \bar{\{X\}} + h) = (\{mean-hval\}, \{mean+hval\})$

    """))
```

Los resultados para cada medida de desempeño se registraron en la misma hoja de “10 runs”

Mean	4,615	34,5%	1,1149	0,35	2,6252
Standard deviation	1,5382	13,8824%	1,1291	0,2368	1,5392
half-width (95%)	1,1003	9,9309%	2,2621	0,1694	1,1011
half-width (99%)	1,5805	14,2668%	1,1604	0,2434	1,5819
confidence interval (95%)	(3,5146 / 5,7153)	(24,5690% / 44,4309%)	(0,3072 / 1,9227)	(0,1805 / 0,5194)	(1,5241 / 3,7264)
confidence interval (99%)	(3,0341 / 6,1958)	(20,2331% / 48,7668%)	(-0,0454 / 2,2754)	(0,1065 / 0,5934)	(1,0433 / 4,2071)

A continuación, se realiza un análisis a cada medida calculada.

### **Average Time in System**

-Media (4.615 minutos): Esto indica que, en promedio, los clientes pasan aproximadamente 4.615 minutos en el sistema, desde que llegan hasta que completan su transacción y se van. Esto indica que el tiempo medio de las 10 runs fue considerablemente menor al del primer run.

-Desviación Estándar (1.5382 minutos): La desviación estándar mide la variabilidad de los datos. En este caso, la desviación estándar de 1.5382 minutos indica que hay cierta variabilidad en los tiempos de espera de los clientes. En este caso, la desviación estándar del tiempo medio en el sistema no es muy alta.

-Intervalo de Confianza (3.5146 minutos a 5.7153 minutos): El intervalo de confianza proporciona un rango en el cual es probable que esté el valor verdadero de la media. En este caso, con una confianza del 95%, podemos decir que el tiempo promedio en el sistema está en el rango de 3.5146 minutos a 5.7153 minutos. Un rango de tiempo muy bueno teniendo en cuenta que no es un tiempo muy largo en total para ser atendido en el cajero.

### **Percent Idle Time**

-Media (34.5%): La media de 34.5% indica que, en promedio, el sistema de cajero del banco está inactivo aproximadamente el 34.5% del tiempo durante las simulaciones. Que el cajero esté ocioso aproximadamente un tercio del tiempo indica que se pueden hacer mejoras en cuanto a la eficiencia del mismo.

-Desviación Estándar (13.8%): La desviación estándar de 13.8% mide la variabilidad en el porcentaje de tiempo inactivo entre las simulaciones. Debido a que la desviación estándar es algo alta, indica que los tiempos de ocio del cajero no son constantes, pudiendo variar en mediana medida de unos a otros.

-Intervalo de Confianza (24.5690% a 44.4309%): Con una confianza del 95%, podemos decir que el porcentaje real de tiempo inactivo está del 24.5690% al 44.4309%. Esto reafirma lo expuesto en la medida anterior, demostrando que la media en los tiempos de ocio del cajero no es constante.

## **Average Waiting Time per Customer**

-Media (1.1149 minutos): La media indica que, en promedio, cada cliente espera aproximadamente 1.1149 minutos antes de ser atendido por el cajero. Esto representa una mejora con respecto a la primera simulación, donde el tiempo promedio de espera era de 1.75 minutos.

-Desviación Estándar (1.1291 minutos): La desviación estándar de 1.1291 minutos muestra que existe cierta variabilidad en los tiempos de espera de los clientes en diferentes simulaciones. Teniendo en cuenta que la desviación estándar es casi igual a la media, se puede decir que el tiempo de espera presenta una gran variabilidad

-Intervalo de Confianza (0.3072 minutos a 1.9227 minutos): Podemos estar 95% seguros de que el tiempo real de espera por cliente se encuentra en el rango de 0.3072 minutos a 1.9227 minutos. Si bien el tiempo de espera máximo representado en el intervalo de confianza no es muy alto, indica que no se puede establecer un tiempo fijo estimado de espera del sistema

## **Fraction Having to Wait**

-Media (0.35): La media indica que, en promedio, el 35% de los clientes debe esperar en la fila antes de ser atendido por el cajero. Esto significa que aproximadamente una tercera parte de los clientes experimenta algún nivel de espera.

-Desviación Estándar (0.2368): La desviación estándar de 0.2368 muestra que existe cierta variabilidad en la fracción de clientes que deben esperar en diferentes simulaciones. Esta es una desviación un tanto grande, teniendo en cuenta que la media de clientes que tienen que esperar es del 35%, lo que indica que realmente esta medida puede llegar hasta el 50%.

-Intervalo de Confianza (0.1805 a 0.5194): El intervalo de confianza del 95% indica que la fracción real de clientes que deben esperar se encuentra en el rango de 0.1805 a 0.5194. Esto es indicativo de que los datos presentan una variabilidad medianamente alta.

## **Average Waiting Time of Those Who Waited**

-Media (2.6252 minutos): La media indica que, en promedio, aquellos clientes que tienen que esperar en la fila antes de ser atendidos experimentan un tiempo de espera de aproximadamente 2.6252 minutos. Esto es menor que el tiempo promedio de espera de 4.375 minutos en la primera simulación, lo que sugiere una mejora en el tiempo de espera para aquellos que deben esperar.

-Desviación Estándar (1.5392 minutos): La desviación estándar de 1.5392 minutos muestra que existe cierta variabilidad en los tiempos de espera de aquellos que tienen que esperar en diferentes simulaciones. Es decir, algunos clientes pueden llegar a esperar 4 minutos en la línea de espera.

-Intervalo de Confianza (1.5241 minutos a 3.7264 minutos): El intervalo de confianza del 95% indica que el tiempo real de espera de aquellos clientes que esperan se encuentra en el rango de 1.5241 minutos a 3.7264 minutos. Esto reafirma lo dicho en la anterior medida, demostrando que los datos tienen cierta variabilidad para la muestra de 20 clientes.

### **5. Repetir los pasos con 200 clientes**

Se volvieron a realizar los mismos pasos, pero esta vez con una población de 200 clientes en lugar de 20.

Para esta ocasión no se usaron los datos de Google, ya que sería un proceso muy lento. En lugar de esto, se usó la función ALEATORIO.ENTRE(inferior;superior) de Excel para generar los tiempos respectivos para los 200 clientes.

Time between	Service time
8	4
8	5
5	2
9	4
6	3
6	1
2	3
8	1
1	4
2	1
9	1
6	3
4	5
3	4
10	4
2	5
4	5
7	2
8	5
7	6
5	2
3	6
5	6
1	6
4	1
5	3
1	3

Se realizaron los mismos análisis que ya se hicieron para 20 clientes.

-Primera simulación con 200 clientes

Average time in system:	5,485
Percent idle time:	30%
Average waiting time per customer:	1,705
Fraction having to wait:	0,44
Average waiting time of those who waited	3,875

1. Average Time in System: El tiempo promedio que un cliente pasa en el sistema, desde el momento en que llega al banco hasta que completa su transacción y se va, es de aproximadamente 5.485 minutos. Comparado con los resultados anteriores de la primera simulación con 20 clientes (6.05 minutos), se puede evidenciar una pequeña reducción en el tiempo medio en el sistema. Esto es tal vez atribuible al incremento en el número de clientes, pero es algo que será comprobado o refutado conforme se analicen el resto de medidas de desempeño.

2. Percent Idle Time: El sistema de cajero del banco está inactivo durante el 30% del tiempo durante esta simulación con 200 clientes. Como ya se ha dicho anteriormente, el cajero pasa una cantidad no despreciable de tiempo ocioso, lo que da una oportunidad de mejora en el sistema



3. Average Waiting Time per Customer: En promedio, cada cliente tiene que esperar aproximadamente 1.705 minutos antes de ser atendido por el cajero. Comparado con los resultados anteriores con 20 clientes (1.75 minutos), el tiempo promedio de espera por cliente es similar, lo que es positivo dado el aumento en la carga de trabajo.

4. Fraction Having to Wait: El 44% de los clientes debe esperar en la fila antes de ser atendido por el cajero. Esto significa que una parte importante de los clientes aún experimenta algún nivel de espera.

5. Average Waiting Time of Those Who Waited: Los clientes que tuvieron que esperar en la fila, esperaron en promedio aproximadamente 3.875 minutos. Esto indica que aquellos clientes que esperan todavía experimentan un tiempo de espera considerable.

-10 runs con 200 clientes

Run	Average time in system:	Percent idle time:	Average waiting time per customer:	Fraction having to wait:	Average waiting time of those who waited:
1	5,49	30%	1,705	0,44	3,875
2	5,34	28%	1,575	0,465	3,387096774
3	4,615	35%	1,025	0,365	2,80822
4	4,32	40%	0,76	0,275	2,763636364
5	5,305	35%	1,69	0,38	4,447368421
6	5,15	35%	1,725	0,465	3,709677419
7	5,515	34%	1,92	0,405	4,740740741
8	4,555	35%	1,06	0,335	3,164179104
9	4,365	39%	0,97	0,305	3,180327869
10	6,41	32%	2,985	0,47	6,35106383

Para los 200 clientes, se puede ver que los datos son mucho menos variables entre sí. La media de tiempo en el sistema, que antes iba desde los 2,5 minutos hasta los 7, ahora va desde los 4,3 hasta los 6,4. O el tiempo de espera por cliente, que variaba entre 0 y 3 minutos, ahora está entre 0,76 hasta 1,92 (teniendo un valor atípico de 2,9). Son resultados mucho más concisos que los datos obtenidos con 20 clientes, y esto sí es atribuible al tamaño aumentado de la muestra. Generalmente, entre mayor es el tamaño de la muestra, más concisos serán los datos. Esto se reafirmará con la evaluación de las medidas estadísticas que se harán a continuación.

## -Medidas estadísticas

Mean	5,1065	34,3%	1,5415	0,3905	3,8426
Standard deviation	0,6517	3,6530%	0,6451	0,0703	1,0966
half-width (95%)	0,4662	2,6132%	0,4615	0,0503	0,7844
half-width (99%)	0,6697	3,7541%	0,663	0,0723	1,127
confidence interval (95%)	(4,6402 / 5,5727)	(31,6867% / 36,9132%)	(1,0799 / 2,0030)	(0,3401 / 0,4408)	(3,0581 / 4,6271)
confidence interval (99%)	(4,4367 / 5,7762)	(30,5458% / 38,0541%)	(0,8784 / 2,2045)	(0,3181 / 0,4628)	(2,7156 / 4,9696)

## Average Time in System

Media (5.1065 minutos): La media de 5.1065 minutos indica que, en promedio, los clientes pasan aproximadamente 5.1065 minutos en el sistema, desde que llegan hasta que completan su transacción y se van. Esto muestra una disminución, pequeña pero una disminución, en el tiempo promedio en el sistema en comparación con la simulación anterior con 20 clientes (5.485 minutos).

Desviación Estándar (1.5382 minutos): La desviación estándar de 0.6517 minutos es considerablemente más baja, lo que sugiere que hay una menor variabilidad en los tiempos de espera en comparación con la simulación anterior con 20 clientes (1.5382 minutos). Esto indica una mayor consistencia en el tiempo promedio de espera entre las simulaciones.

Intervalo de Confianza (4.6402 minutos a 5.5727 minutos): El intervalo de confianza del 95% indica que el tiempo real de espera en el sistema se encuentra en el rango de 4.6402 minutos a 5.5727 minutos. Esto proporciona una estimación mucho más precisa que el anterior intervalo de confianza para 20 clientes.

## Percent Idle Time

Media (34.3%): La media de 34.3% indica que, en promedio, el sistema de cajero del banco está inactivo aproximadamente el 34.3% del tiempo durante estas simulaciones con 200 clientes. Esto sugiere una eficiencia similar en comparación con la simulación anterior con 20 clientes, donde la media fue del 30%.

Desviación Estándar (3.6530%): La desviación estándar de 3.6530% muestra que hay cierta variabilidad en el porcentaje de tiempo inactivo entre las simulaciones. Pero esta variabilidad representa una gran reducción comparada con la anterior desviación estándar del 13.8%. Una vez más, se demuestra la mejora en la precisión de los datos gracias al aumento de la muestra.

Intervalo de Confianza (31.6867% a 36.9132%): El intervalo de confianza del 95% demuestra que el porcentaje real de tiempo inactivo se encuentra en el rango de 31.6867% a 36.9132%. El rango se ve considerablemente reducido comparado con el hallado con 20 clientes en el sistema.

### **Average Waiting Time per Customer**

Media (1.1149 minutos): a media de 1.5415 minutos indica que, en promedio, cada cliente tiene que esperar aproximadamente 1.5415 minutos antes de ser atendido por el cajero. En comparación con la simulación anterior con 20 clientes (1.1149 minutos), es un incremento menor en el tiempo de espera.

Desviación Estándar (0.6451 minutos): La desviación estándar de 0.6451 minutos es relativamente baja, lo que sugiere que hay una menor variabilidad en los tiempos de espera por cliente en comparación con la simulación anterior con 20 clientes, en donde la variabilidad era prácticamente el doble de tiempo. Esto indica una mayor consistencia en el tiempo promedio de espera.

Intervalo de Confianza (0.3072 minutos a 1.9227 minutos): Podemos estar 95% seguros de que el tiempo real de espera por cliente se encuentra en el rango de 0.3072 minutos a 1.9227 minutos. Si bien el tiempo de espera máximo representado en el intervalo de confianza no es muy alto, indica que no se puede establecer un tiempo fijo estimado de espera del sistema

(1.0799 minutos a 2.0030 minutos): El intervalo de confianza del 95% indica que el tiempo real de espera por cliente se encuentra en el rango de 1.0799 minutos a 2.0030 minutos. Si bien, comparado con el intervalo de confianza para esta medida de desempeño en el ejemplo de 20 clientes, el límite superior no es muy diferente, el límite inferior se ve severamente aumentado, lo que al final indica una reducción significativa en el rango total.

### **Fraction Having to Wait**

Media (0.3905): La media de 0.3905 indica que, en promedio, el 39.05% de los clientes debe esperar en la fila antes de ser atendido por el cajero. Esto representa una fracción similar en comparación con la simulación anterior con 20 clientes (0.35), lo que sugiere que la fracción de clientes que deben esperar se ha mantenido relativamente constante.

Desviación Estándar (0.0703): La desviación estándar de 0.0703 es muy baja, comparada con la anterior de 0.2368, lo que indica que hay una menor variabilidad en la fracción de clientes que deben esperar en comparación con la simulación anterior con 20 clientes. Esto significa que la consistencia en esta medida ha mejorado considerablemente

Intervalo de Confianza (0.3401 a 0.4408): El intervalo de confianza del 95% indica que la fracción real de clientes que deben esperar se encuentra en el rango de 0.3401 a 0.4408. Este es un rango mucho más estrecho si se compara con el rango anterior para esta medida de desempeño (0.1805-0.5194), representando una variabilidad de los datos mucho menor.

### **Average Waiting Time of Those Who Waited**

Media (3.8426 minutos): La media de 3.8426 minutos indica que, en promedio, aquellos clientes que tienen que esperar en la fila antes de ser atendidos experimentan un tiempo de espera de aproximadamente 3.8426 minutos. Se evidencia un aumento en el tiempo con respecto a las 10 runs con 20 clientes

Desviación Estándar (1.0966 minutos): La desviación estándar de 1.0966 minutos es relativamente baja, lo que indica que hay una menor variabilidad en los tiempos de espera para aquellos que deben esperar en comparación con la simulación anterior con 20 clientes. Un indicativo de que la consistencia en esta medida ha mejorado.

Intervalo de Confianza (3.0581 minutos a 4.6271 minutos): El tiempo real de espera de aquellos que esperan se encuentra en el rango de 3.0581 minutos a 4.6271 minutos. Si bien el límite superior de este rango es mayor al límite superior del rango con 20 clientes (1.5241-3.7264), el tamaño del rango se ve en gran medida reducido.

Evidentemente, y como ya se ha mencionado en el análisis de las medidas de desempeño, el aumento de la muestra, es decir el número de clientes, representó una mayor precisión en los datos. Prácticamente todas las medidas estadísticas de todas las medidas de desempeño evidenciaron una reducción en la desviación estándar de los datos, y un menor tamaño del intervalo de confianza. Una muestra más grande tiende a reducir la variabilidad estadística y mejorar la confiabilidad de las estimaciones. Es muy posible que, si aumentáramos el tamaño de la muestra de 200 a, por ejemplo, 2000, tendríamos datos aún más concisos y medidas de variabilidad aún menores.