

Simulación de cajeros

La aplicación servirá para determinar cuál es la caja más eficiente del supermercado en cuanto al despacho de clientes (caja regular o caja express), mediante las diferentes simulaciones y estimaciones del tiempo que pueden tardar distintos tipos de cajeros al atender a los clientes, tomando en consideración, varios y diferentes parámetros; y realizando cálculos con datos aleatorios y sesgados.

Integrantes: Gabriel Cevallos, Wilmer Pardo, Alexis Román, Mateo Rojas.

Hipótesis: “La caja express siempre va a ganar en contra de las cajas normales”.

Justificación. -

Gracias a la técnica de observación aplicada por nuestro compañero Alexis Román, (quien trabaja dentro la empresa con el rol de cajero) en un ambiente real, como lo es el supermercado “Gran AKÍ”, se ha determinado que, las cajas están limitadas por la velocidad de escaneo. Aunque la fila express tenga el doble de personas, la carga de trabajo total (medida en artículos) es significativamente menor, por lo cual, el límite de 10 artículos de la caja express asegura que el tiempo de servicio por cliente sea corto y, lo más importante, predecible.

Las cajas normales, por otro lado, sufren de alta variabilidad, por ejemplo: un solo cliente con 40 artículos en una caja normal puede tomar el mismo tiempo que 7 clientes en la caja express.

Por lo tanto, mientras la carga total de artículos de la caja express sea menor que la de una caja normal, siempre ganará la carrera de rendimiento total.

Criterios. -

Estos criterios se han basado en la experiencia real de un integrante, con el fin de tener una simulación lo más parecida a la realidad.

	Cajas Regulares	Caja Express
Número de Artículos por Persona	1 - 50	1 - 10
Número de Cajas	4	1
Tipo de Cajero	Normal o Principiante (Aleatorio)	
Número de Clientes	x	X ²

- Tiempos de cobro: Tarjeta (5 a 10s) Efectivo (5 a 30s) de forma aleatoria.

- Tiempo de escaneo de cada cajero: Principiante (3 a 4 segundos), Normal (1 a 2 segundos), aleatoriamente.

Análisis. -

La caja ganadora se decide por la carga total, la cual se compone de carga de escaneo (total de artículos * escaneo) y carga de pago (total de clientes * tiempo de pago). La caja normal gana si su carga total es menor a la de la caja express.

La caja normal puede ganar en contra de una express si se combinan estos dos escenarios:

- **Peor escenario para la caja express:** n (por ejemplo: 20) clientes llevan x (10) artículos y su método de pago será efectivo, el tipo de cajero es principiante.
- **Mejor escenario para la caja normal:** n (por ejemplo: 10) clientes llevan x/2 (5) artículos y su método de pago es tarjeta, el tipo de cajero es normal.

Cálculo. -

Para encontrar el tiempo total que le toma a una caja se toma en cuenta los siguientes datos:

- **A_i** = número de artículos de un cliente individual
- **E** = tiempo de escaneo
- **P_i** = tiempo de pago del cliente individual
- **N** = número total de clientes

$$T_{\text{cajaTotal}} = \sum_{i=1}^N ((A_i * E) + P_i)$$

Implementación en el código. -

```
def calcular_tiempo_total(self):
    t_escaneo = self.articulos * self.tiempo_escaneo
    t_cobro = self.t_cobro()
    return t_escaneo + t_cobro
```

Figura 1. Función de la clase cliente

En la Figura 1 se aprecia el cálculo de $(A_i * E) + P_i$, siendo este cálculo realizado por cada cliente de manera individual.

Para realizar la sumatoria se define una función dentro del modelo [caja.py](#), como se aprecia en la Figura 2.

```
def calcular_tiempo_total(self):
    tiempo_total = 0
    for i, cliente in enumerate(self.clientes, start=1):
        tiempo_cliente = cliente.calcular_tiempo_total()
        print(f"Cliente {i}: {cliente.get_articulos()} artículos - {cliente.get_tipo_pago()} - Tiempo total: {tiempo_cliente}s")
        tiempo_total += tiempo_cliente
    return tiempo_total
```

Figura 2. Función para el cálculo del tiempo total.

Flujo de Uso:

1. Configuración de filas:

- Indicar cuantas personas hay inicialmente en la fila de la caja
- Genera los artículos por persona aleatoriamente (1-50 para normal y 1-10 para express).

2. Análisis Estratégico:

- Calcula el tiempo estimado para vaciar cada fila.
- Se muestra cual es la mejor caja para un nuevo cliente.

3. Simulación Visual:

- En toda la animación que está implementada en html cada cliente representado con una círculo azul desaparece y el reloj avanza

Simulación. -

- **Número Total de Casos de Prueba realizados para la resolución del taller: +1000**

Simulación Masiva

Con 1000 casos de prueba realizados, se han obtenido los siguientes resultados:

- Caja 1: 224 victorias
- Caja 2: 234 victorias
- Caja 3: 212 victorias
- Caja 4: 0 victorias
- Caja Express: 330 victorias

Simulación Individual

The interface for individual simulation includes controls for 'Caja 4' and 'Caja Express' at the top, a 'Simulando...' button, and five vertical columns below showing the results for each box. Each column contains a list of numbers in blue circles.

Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 4	Caja Express
42	36	31	43	7
43	50	41	44	4
40	32	50	2	1
27	46	13	32	10
25	45	38	20	4
4	47	49	16	4
19	12	19	2	4
33	12	27	46	5
36	38	35	34	9

Figura 3. Interfaz gráfica para la simulación individual.

Siendo los resultados finales:

- Caja 1: **778s** (Aprox. 12 min 58s)
- Caja 2: **891s** (Aprox. 14 min 51s)
- Caja 3: **356s** (Aprox. 5 min 56s)
- Caja 4: **383s** (Aprox. 6 min 23s)
- Caja Express: **623s** (Aprox. 10 min 23s)

La caja ganadora es la caja 3, considerando que, en la caja express existió un mayor número de artículos por cliente.

Anexos. -

Casos de Prueba: Variación mínima de valores (Artículos de Caja Express Aleatorios)

Caja 1	Caja 2	Caja 3
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>
Caja 4	Caja Express	
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **278s** (Aprox. 4 min 38s)
Caja 2: **398s** (Aprox. 6 min 38s)
Caja 3: **684s** (Aprox. 11 min 24s)
Caja 4: **736s** (Aprox. 12 min 16s)
Caja Express: **228s** (Aprox. 3 min 48s)

● **La mejor opción fue: Caja Express**

- **Descripción:** En este caso, todos los cajeros, tanto regulares como express, poseen un cajero normal. Los cajeros regulares poseen 10 clientes, con un número fijo de artículos (10), y solamente la caja express tiene un número aleatorio de artículos.
- **Análisis:** Al realizar varios casos de prueba con “igualdad de condiciones”, se ha identificado que, incluso en el peor caso para la caja express (9 artículos por persona), será la caja más óptima para un cliente.

Casos de Prueba: Variación mínima de valores (Tipo de Pago Aleatorio)

Caja 1	Caja 2	Caja 3
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>
Caja 4	Caja Express	
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **785s** (Aprox. 13 min 5s)
Caja 2: **381s** (Aprox. 6 min 21s)
Caja 3: **351s** (Aprox. 5 min 51s)
Caja 4: **656s** (Aprox. 10 min 56s)
Caja Express: **242s** (Aprox. 4 min 2s)

● La mejor opción fue: Caja Express

- **Descripción:** A las condiciones del caso anteriormente mencionado, se le agregó la propiedad estocástica al tipo de pago, de forma que, altera en cierto modo el avance de las personas en cada caja.
- **Análisis:** Al aplicarse esta simulación un total de 10 iteraciones, en el 70% de ellas, la caja express resultó ser una mejor opción para el cliente, aunque en ciertas ocasiones se ve superada por las cajas regulares con diferencias muy mínimas aún, como se evidencia en la imagen adjunta.

Casos de Prueba: Variación mínima de valores (Tipo de Cajero Aleatorio)

Caja 1

10

Principiante

Caja 2

10

Normal

Caja 3

10

Normal

Caja 4

10

Principiante

Caja Express

10

Principiante

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **1065s** (Aprox. 17 min 45s)
Caja 2: **372s** (Aprox. 6 min 12s)
Caja 3: **369s** (Aprox. 6 min 9s)
Caja 4: **886s** (Aprox. 14 min 46s)
Caja Express: **422s** (Aprox. 7 min 2s)

● La mejor opción fue: Caja 3

- **Descripción:** Ahora, la variable del tipo de cajero será la que, de forma aleatoria cambie en caja ejecución del caso de prueba.
- **Análisis:** El porcentaje de victoria de las cajas regulares incrementó a un 60%, puesto que, el tiempo que se demora un cajero en realizar sus actividades empieza a marcar una diferencia significativa con respecto al tiempo de los cajeros principiantes.

Casos de Prueba: Variación mínima de valores (Tiempo de Escaneo Aleatorio)

Caja 1	Caja 2	Caja 3
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>
Caja 4	Caja Express	
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **741s** (Aprox. 12 min 21s)

Caja 2: **389s** (Aprox. 6 min 29s)

Caja 3: **339s** (Aprox. 5 min 39s)

Caja 4: **540s** (Aprox. 9 min 0s)

Caja Express: **246s** (Aprox. 4 min 6s)

● La mejor opción fue: Caja Express

- **Descripción:** Como siguiente variable aleatoria, el tiempo de escaneo cambiará en cada una de las iteraciones para observar su efecto sobre el tiempo total de los clientes en las cajas.
- **Análisis:** En este caso, surgió una situación interesante, pues, tomando las referencias del tiempo de escaneo en las cajas del supermercado “Gran Aki”, el porcentaje de victorias de caja express es de 45%, mientras que las cajas poseen 55%, en un total de 20 intentos, pues al parecer, la diferencia de tiempo en este aspecto, no es muy notoria, como se demuestra en la imagen adjunta.

***Nota:** Al realizar una comparación con los valores guía del taller, podemos concluir que, estos casos son los más cercanos a un “empate”, debido a que, en 20 intentos, las cajas

regulares lograron vencer a la caja express en 12 de ellos, es decir, un porcentaje de eficiencia del 60%.

Casos de Prueba: Variación de valores (Tiempo de Cobro Aleatorio)

Caja 1

10

Normal

Caja 2

10

Normal

Caja 3

10

Normal

Caja 4

10

Normal

Caja Express

10

Normal

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **330s** (Aprox. 5 min 30s)
Caja 2: **374s** (Aprox. 6 min 14s)
Caja 3: **620s** (Aprox. 10 min 20s)
Caja 4: **601s** (Aprox. 10 min 1s)
Caja Express: **226s** (Aprox. 3 min 46s)

● La mejor opción fue: Caja Express

- **Descripción:** El tiempo de cobro se estableció de forma aleatoria entre el intervalo establecido en el taller, lo que permite al caso de prueba ser un poco menos sesgado,
- **Análisis:** Se ha determinado que, gradualmente, las cajas regulares empiezan a ser más eficientes que la caja express, debido a la aleatoriedad agregada en el tiempo de cobro, lo que implica una diferencia cada vez mayor en el tiempo total de atención a los clientes por cada caja.

Casos de Prueba: Variación de valores (Número de Artículos Aleatorio)

Caja 1

10

Normal

Caja 2

10

Normal

Caja 3

10

Normal

Caja 4

10

Normal

Caja Express

10

Normal

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **750s** (Aprox. 12 min 30s)
Caja 2: **712s** (Aprox. 11 min 52s)
Caja 3: **672s** (Aprox. 11 min 12s)
Caja 4: **399s** (Aprox. 6 min 39s)
Caja Express: **157s** (Aprox. 2 min 37s)

● La mejor opción fue: **Caja Express**

Descripción: A medida que los casos de prueba se van registrando, y la cantidad de variables aleatorias aumenta, se ha considerado agregar a esta lista el número de artículos de los clientes en cada caja, en un rango de 1 a 50.

Análisis: Al definirse como una característica aleatoria, el número de artículos se puede considerar como uno de los aspectos más decisivos al momento de decidir la caja más conveniente para los clientes del supermercado, pues, se evidencia una diferencia muy notoria en los tiempos entre la caja express y las cajas regulares, siendo éstas inferiores a la primera, en términos de eficiencia.

Caso de Prueba: Hora Pico

A continuación se detallan los datos obtenidos a partir del método de observación aplicado en el supermercado “Gran AKÍ”.

- **Caja express** = 16 - 20 clientes
- **Caja normal** = 6 - 7 clientes
- **Número de artículos por cliente:** aumenta a 30 - 80 artículos

Caja 1	Caja 2	Caja 3
<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="7"/>
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>

Caja 4	Caja Express
<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="16"/>
<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text" value="Normal"/>

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **832s** (Aprox. 13 min 52s)
Caja 2: **405s** (Aprox. 6 min 45s)
Caja 3: **993s** (Aprox. 16 min 33s)
Caja 4: **1009s** (Aprox. 16 min 49s)
Caja Express: **360s** (Aprox. 6 min 0s)

● La mejor opción fue: **Caja Express**

Análisis: Como se logra apreciar la caja ganadora en este caso de prueba, cercano a la realidad, es la caja express.

A continuación se detallan más casos de prueba con todos los cajeros normales.

```
caja1 = Caja('normal')
caja2 = Caja('normal')
caja3 = Caja('normal')
caja4 = Caja('normal')

caja_express = Caja('normal')

generar_clientes(caja1, 6)
generar_clientes(caja2, 7)
generar_clientes(caja3, 7)
generar_clientes(caja4, 8)
generar_clientes(caja_express, 20, tipo="express")
```

Con 100 ejecuciones obtenemos lo siguiente:

```
--- 🏆 Resumen de Victorias (de 100 simulaciones) ---
Caja 1: 25 victorias
Caja 2: 3 victorias
Caja 3: 12 victorias
Caja 4: 1 victorias
Caja Express: 59 victorias
```

```
--- 🏆 Resumen de Victorias (de 100 simulaciones) ---
Caja 1: 27 victorias
Caja 2: 3 victorias
Caja 3: 8 victorias
Caja 4: 2 victorias
Caja Express: 60 victorias
```

```
--- 🏆 Resumen de Victorias (de 100 simulaciones) ---
Caja 1: 25 victorias
Caja 2: 6 victorias
Caja 3: 6 victorias
Caja 4: 0 victorias
Caja Express: 63 victorias
```

Análisis: La caja express gana en aproximadamente el 60% de ocasiones.

Caso de prueba Carrera de Pagos:

Simulación de Cajas de Supermercado

Caja 1

Normal

Caja 2

Normal

Caja 3

Normal

Caja 4

Normal

Caja Express

Normal

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

Caja 1: **103s** (Aprox. 1 min 43s)
Caja 2: **102s** (Aprox. 1 min 42s)
Caja 3: **0s** (Sin clientes)
Caja 4: **0s** (Sin clientes)
Caja Express: **0s** (Sin clientes)

Descripción: Este caso de prueba está diseñado para aislar y demostrar el impacto de la aleatoriedad en el tiempo de cobro.

Análisis: Se configura una simulación idéntica de la caja 1 y la caja 2 con un número muy bajo de clientes que en ambas cajas usan el mismo tipo de cajero normal

Caja 1: 2 clientes, Normal (1-3s)

Caja 2: 2 clientes, Normal (1-3s)

Otras cajas: 0 clientes

La Caja 2 es la ganadora con 156s es casi seguro que a sus 2 clientes les tocó pagar con "tarjeta" lo que tendrían una mejor suerte.

Caso de Prueba con mayor número de cajas

Caja 1

10

Normal

Caja 2

10

Normal

Caja 3

10

Normal

Caja 4

10

Normal

Caja 5

10

Normal

Caja 6

10

Normal

Caja 7

10

Normal

Caja 8

10

Normal

Caja Express

20

Normal

Caja Express2

20

Normal

Iniciar Simulación de Nuevo

Resultados Finales (Calculados por Python)

- Caja 1: 1301s (Aprox. 21 min 41s)
- Caja 2: 631s (Aprox. 10 min 31s)
- Caja 3: 634s (Aprox. 10 min 34s)
- Caja 4: 663s (Aprox. 11 min 3s)
- Caja 5: 0s (Sin clientes)
- Caja 6: 0s (Sin clientes)
- Caja 7: 0s (Sin clientes)
- Caja 8: 0s (Sin clientes)
- Caja Express: 520s (Aprox. 8 min 40s)
- Caja Express2: 389s (Aprox. 6 min 29s)

La mejor opción fue: Caja Express2

Descripción: Se usaron los criterios establecidos, y se ha duplicado el número de cajas.

Análisis: En este caso de prueba aumenta la probabilidad de que un cajero normal gane, ya que estos tienen mayores unidades, las dos cajas express tienen tiempos similares, y puede ser un promedio para estas mientras que en las cajas normales existe más variación.

Al realizar 100 pruebas se obtienen los siguientes resultados:

Caja 1: 16 victorias

Caja 2: 15 victorias

Caja 3: 5 victorias

Caja 4: 8 victorias

Caja 5: 6 victorias

Caja 6: 9 victorias

Caja 7: 5 victorias

Caja 8: 7 victorias

Caja Express: 14 victorias

Caja Express2: 15 victorias

Siendo la caja 1 y 2 las cajas con el menor tiempo de despacho, seguidas de las cajas express con poca diferencia.

Análisis Final. -

Las variables determinantes de la problemática son:

- Número de Artículos por Persona
- Número de Personas por Cada Caja

Puesto que, al ser aleatorias, logran marcar una diferencia más amplia en la cantidad de veces que una caja gana sobre la otra, evidenciado en los casos de prueba realizados.

Dentro de las ejecuciones masivas de casos de pruebas, al considerar todas las variables como estocásticas, podemos concluir que, en un rango del 30% al 40% de ocasiones, la caja más eficiente para un cliente dentro del supermercado es la caja express, mientras que, el rango considerado entre 60% y 70% de victorias, le pertenece a las cajas normales.

Por lo tanto, **la hipótesis planteada inicialmente, se rechaza**, debido a que, **en la mayoría de los casos, las cajas normales son más eficientes que la caja express**, y ésta, únicamente, es superior en casos puntuales donde las variables determinantes se encuentren a su favor, siendo menores a los valores de las cajas normales.

