

# Informe de Simulación: Comidas Rápidas “Panis”

12 de abril de 2025

## 1. Introducción

En este proyecto, se analiza el sistema de atención al cliente en el local de comida rápida “Panis” mediante simulación, con el propósito de evaluar y comparar dos configuraciones de colas. La primera configuración consiste en tres colas separadas, cada una atendida por un empleado, donde los clientes se distribuyen aleatoriamente. La segunda configuración propone una única cola que distribuye clientes a los tres empleados.

El objetivo principal es determinar cuál de estas configuraciones minimiza el tiempo medio que un cliente pasa en el sistema hasta ser atendido, optimizando así la eficiencia del servicio. Los clientes llegan al local siguiendo un proceso de Poisson con una tasa media de 60 por hora, y el tiempo de servicio por cliente sigue una distribución exponencial con una media de 150 segundos.

Las variables de interés son el tiempo medio de estancia en el sistema para cada configuración, asumiendo un estado permanente. Este análisis permite al gerente de “Panis” tomar decisiones informadas sobre la disposición de las colas para mejorar la experiencia del cliente.

## 2. Detalles de Implementación

La simulación se desarrolló utilizando la biblioteca SimPy en Python, diseñada para modelar sistemas de eventos discretos. A continuación, se describen los pasos implementados para cada configuración:

### 2.1. Configuración de Tres Colas Separadas

- **Modelado de Servidores:** Se crearon tres recursos independientes en SimPy, cada uno con capacidad de 1, representando los tres empleados.
- **Llegada de Clientes:** Los clientes llegan según un proceso de Poisson con tasa  $\lambda = \frac{60}{3600}$  clientes por segundo.
- **Asignación de Colas:** Cada cliente selecciona aleatoriamente una de las tres colas con igual probabilidad.

- **Tiempo de Servicio:** El tiempo de servicio es generado a partir de una distribución exponencial con media de 150 segundos.
- **Registro de Tiempos:** Se mide el tiempo total que cada cliente pasa en el sistema.

## 2.2. Configuración de Cola Única

- **Modelado de Servidores:** Se creó un único recurso en SimPy con capacidad de 3, representando los tres empleados.
- **Llegada de Clientes:** Los clientes llegan con la misma tasa de Poisson.
- **Formación de Cola:** Todos los clientes se unen a una única cola, y el primer cliente es atendido por el próximo empleado disponible.
- **Tiempo de Servicio:** El tiempo de servicio sigue la misma distribución exponencial.
- **Registro de Tiempos:** Se registra el tiempo total en el sistema para cada cliente.

## 2.3. Ejecución de la Simulación

La simulación se ejecutó durante 8 horas (28,800 segundos) para aproximar el comportamiento en estado permanente. Se recolectaron datos sobre los tiempos de estancia y se generaron visualizaciones para analizar el desempeño de ambos sistemas.

# 3. Resultados y Experimentos

## 3.1. Hallazgos de la Simulación

Los resultados obtenidos de la simulación son los siguientes:

Configuración	Tiempo Medio de Estancia (segundos)
Tres colas separadas	769.48
Cola única	426.86

Cuadro 1: Tiempos medios de estancia obtenidos mediante simulación.

## 3.2. Interpretación de los Resultados

Los resultados sugieren que la configuración de cola única es considerablemente más eficiente, reduciendo el tiempo medio de estancia en aproximadamente un 44 % en comparación con las colas separadas (de 769.48 segundos a 426.86 segundos). Esto implica que los clientes pasan menos tiempo esperando

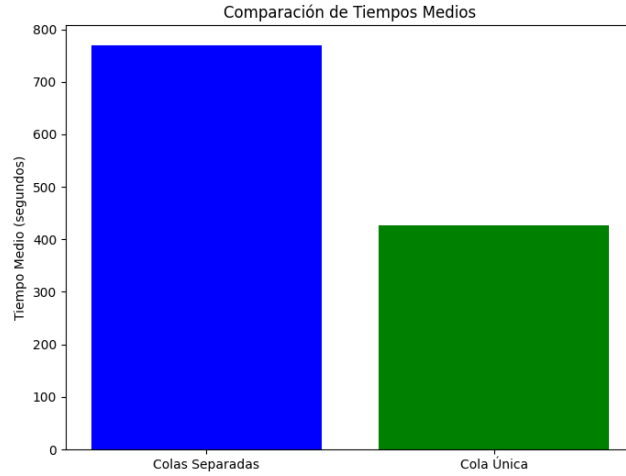


Figura 1: Comparación de tiempos medios de estancia.

y siendo atendidos en el sistema de cola única, lo que podría traducirse en una mejor experiencia del cliente y mayor capacidad para manejar picos de demanda.

En el sistema de colas separadas, la asignación aleatoria de clientes puede generar desequilibrios, donde algunas colas se congestionan mientras otras permanecen inactivas. Esto se observa en la Figura 2, donde las longitudes de las colas varían significativamente.

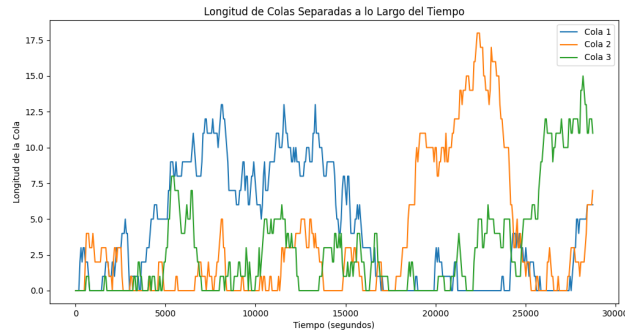


Figura 2: Longitud de las colas separadas a lo largo del tiempo.

En contraste, la cola única permite que cualquier empleado disponible atienda al siguiente cliente, optimizando la utilización de los servidores y reduciendo los tiempos de espera, como se muestra en la Figura 3.

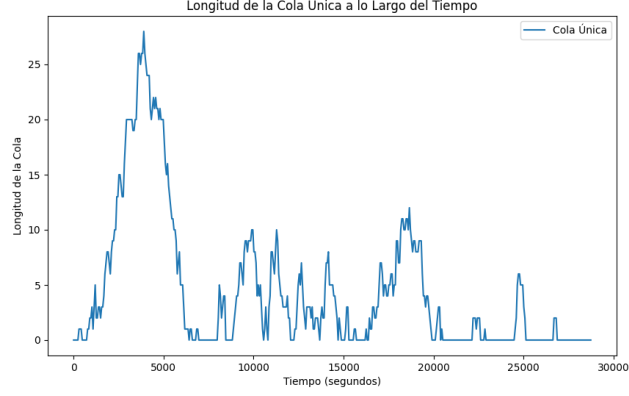


Figura 3: Longitud de la cola única a lo largo del tiempo.

### 3.3. Hipótesis Extraídas

Basado en los resultados, se plantea la hipótesis de que un sistema de cola única con múltiples servidores es más eficiente que múltiples colas separadas para el mismo número de servidores y tasa de llegada, debido a un mejor balanceo de carga. Esta hipótesis está alineada con principios de la teoría de colas, que indican que los sistemas  $M/M/c$  tienden a tener tiempos de espera menores que  $c$  sistemas  $M/M/1$  con la misma carga total.

### 3.4. Experimentos Realizados

El experimento principal consistió en ejecutar la simulación para ambos escenarios durante 8 horas, recolectando los tiempos de estancia de todos los clientes. Las visualizaciones generadas, como el promedio acumulado en la Figura 4, ayudan a entender cómo los promedios se estabilizan con el tiempo.

### 3.5. Análisis Estadístico

Dado que los resultados provienen de una única simulación, no se calcularon intervalos de confianza ni se realizó un análisis estadístico detallado. Sin embargo, con una tasa de llegada de 60 clientes por hora durante 8 horas, se espera que aproximadamente 480 clientes sean atendidos, lo que proporciona una muestra suficiente para estimar el comportamiento en estado permanente.

### 3.6. Análisis de Parada

La simulación se detuvo tras 8 horas, un tiempo considerado adecuado para alcanzar un estado cercano al permanente. La Figura 4 muestra que los prome-

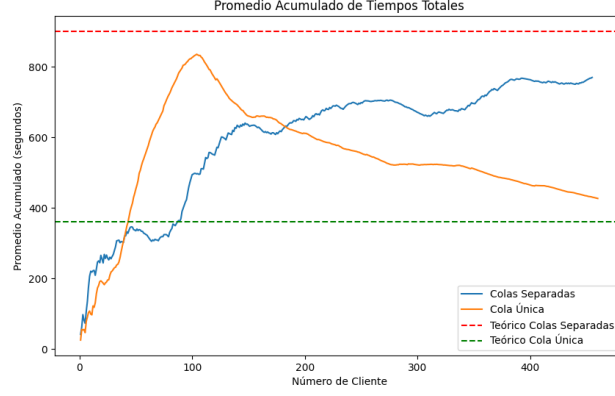


Figura 4: Promedio acumulado de tiempos totales, mostrando convergencia hacia los valores teóricos.

Los promedios acumulados tienden a estabilizarse, aunque no alcanzan completamente los valores teóricos, posiblemente debido a efectos transitorios iniciales.

## 4. Modelo Matemático

### 4.1. Descripción del Modelo

El sistema se modela utilizando la teoría de colas, con las siguientes caracterizaciones:

**Tres Colas Separadas:** Cada cola se modela como una cola M/M/1 independiente, con:

- Tasa de llegada:  $\lambda_{\text{queue}} = \frac{\lambda}{3} = 20$  clientes por hora.
- Tasa de servicio:  $\mu = 24$  clientes por hora.

El tiempo medio en el sistema para una cola M/M/1 es:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda_{\text{queue}}} = 900 \text{ segundos.}$$

**Cola Única:** El sistema se modela como una cola M/M/3, con:

- Tasa de llegada:  $\lambda = 60$  clientes por hora.
- Tasa de servicio por servidor:  $\mu = 24$  clientes por hora.
- Número de servidores:  $c = 3$ .

El tiempo medio en el sistema es  $W \approx 360.6$  segundos, calculado mediante la fórmula de Erlang C.

## 4.2. Supuestos y Restricciones

- **Estado Permanente:** Se asume que el sistema opera en estado permanente.
- **Distribuciones:** Las llegadas son Poisson y los tiempos de servicio son exponenciales.
- **Asignación Aleatoria:** En las colas separadas, los clientes eligen colas con igual probabilidad.
- **Sin Cambios de Cola:** Las barreras evitan que los clientes cambien de cola.

## 4.3. Comparación con Resultados Experimentales

Los resultados teóricos predicen:

- Colas separadas:  $W = 900$  segundos.
- Cola única:  $W \approx 360.6$  segundos.

Sin embargo, la simulación reporta:

- Colas separadas: 769.48 segundos.
- Cola única: 426.86 segundos.

Las diferencias se atribuyen a efectos transitorios y variabilidad estadística, como se observa en la Figura 4.

En conclusión, tanto la simulación como el modelo matemático respaldan la recomendación de adoptar una configuración de cola única en “Panis” para reducir significativamente el tiempo medio de estancia de los clientes, mejorando la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.