

# Modelos de Teoría de Colas y Simulación Discreta para Centros de Atención

Arnau Sastre

[linkedin.com/in/arnausastre](https://www.linkedin.com/in/arnausastre)

August 10, 2025

## Abstract

Este artículo presenta un análisis de dimensionamiento de recursos para centros de atención al cliente, combinando modelos de teoría de colas (Erlang-B, Erlang-C y Erlang-A) con simulación discreta por eventos. El objetivo es identificar el número óptimo de agentes para garantizar tiempos de espera reducidos, minimizar bloqueos y modelar abandonos. Los resultados permiten tomar decisiones informadas sobre la capacidad necesaria en escenarios reales.

## 1 Introducción

En operaciones de atención al cliente, dimensionar correctamente los recursos es clave para mantener un servicio eficiente y evitar saturaciones. La teoría de colas ofrece modelos analíticos para estimar métricas clave, mientras que la simulación discreta permite incorporar mayor realismo y variabilidad. Este trabajo aplica ambas metodologías a un caso práctico con tráfico conocido y restricciones operativas.

## 2 Datos y supuestos

- Tasa de llegada: 30 llamadas/hora.
- Tiempo medio de servicio: 5 minutos (0.0833 h).
- Tráfico ofrecido: 2.5 Erlangs.
- Sistema multi-servidor, con y sin abandonos.

## 3 Metodología

### Modelos analíticos

Se implementan las fórmulas clásicas:

- Erlang-C:

$$P_w = \frac{\frac{a^N}{N!} \cdot \frac{N}{N-a}}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^N}{N!} \cdot \frac{N}{N-a}}$$

donde  $a$  es el tráfico ofrecido y  $N$  el número de agentes.

- **Tiempo medio de espera:**

$$W_q = \frac{P_w}{N\mu - \lambda}$$

- **Erlang-B:**

$$B(N, a) = \frac{\frac{a^N}{N!}}{\sum_{k=0}^N \frac{a^k}{k!}}$$

- **Erlang-A:** variante que incorpora una tasa de abandono  $\theta$ , mejorando la precisión en escenarios con clientes que abandonan.

## Simulación discreta

Se desarrolla un simulador por eventos que:

- Modela llegadas como un proceso de Poisson.
- Modela servicios con tiempos exponenciales.
- Incorpora abandonos si el tiempo de espera excede un umbral.

Métricas obtenidas:

- Tiempo medio de espera.
- Porcentaje de llamadas con espera  $> 2$  min.
- Porcentaje de abandonos.
- Utilización media de agentes.

## 4 Resultados

### Resultados analíticos

- **4 agentes:**  $W_q = 1.07$  min, bloqueo = 14.99%.
- **6 agentes:**  $W_q = 0.07$  min, bloqueo = 2.82%.
- **7 agentes:**  $W_q = 0.02$  min, bloqueo = 1%.

El modelo Erlang-A permite analizar el impacto de la tasa de abandono, ajustando métricas a escenarios más realistas.

### Resultados de simulación

Para 6 agentes durante 4 horas:

- Llamadas atendidas: 127.
- Tiempo medio de espera: 0.02 min.
- % de llamadas con espera  $> 2$  min: 0.8%.
- Utilización media: 100%.

## 5 Interpretación

- Con 6 agentes se logra un servicio muy eficiente, con esperas mínimas y bajo bloqueo.
- Con 7 agentes se prácticamente eliminan esperas y bloqueos.
- El modelo Erlang-A es útil para modelar entornos donde los clientes abandonan si esperan demasiado.
- La simulación discreta valida los resultados analíticos y permite analizar la variabilidad.

## 6 Aplicaciones empresariales

- Dimensionamiento de call centers.
- Planificación de recursos en atención presencial o virtual.
- Gestión de colas en logística o servicios públicos.

## 7 Conclusiones

La combinación de teoría de colas y simulación discreta permite tomar decisiones informadas sobre capacidad de servicio, equilibrando coste y nivel de atención. La metodología es flexible y puede adaptarse a distintos sectores y métricas objetivo.

## Contacto

Para más información o implementación de este modelo, puede contactarme vía **LinkedIn** o consultar otros proyectos en mi **GitHub**.