

# Inteligencia Artificial y sus Aplicaciones en la IO: Análisis Predictivo en la Teoría de Colas para la Optimización del Tiempo de Servicio

Ismael Salazar Blanco, Nestor Leiva Mora, Franklin Quesada Tames

November 20, 2023

## Abstract

La inteligencia artificial (IA) ha revolucionado la resolución de problemas en diversas disciplinas, y este estudio se centra en la intersección entre la IA y la investigación de operaciones, explorando cómo las analíticas predictivas transforman la optimización del tiempo de servicio en modelos de colas. Destacando la importancia del tiempo de servicio en la satisfacción del cliente en sistemas de colas, el análisis predictivo utiliza datos históricos para anticipar comportamientos futuros, permitiendo a las empresas planificar de manera efectiva y adaptarse a cambios en la demanda. Este trabajo se enfoca en la implementación práctica de analíticas predictivas para mejorar la optimización del tiempo de servicio. Al analizar datos históricos, buscamos no solo prever patrones, sino también desarrollar un modelo de optimización tangible que mejore el rendimiento y la calidad del sistema. Este estudio aspira a contribuir al ámbito teórico y proporcionar una herramienta aplicable a las empresas, impulsando la capacidad de respuesta y mejorando la experiencia del cliente en entornos basados en colas.

## 1 Introducción

La inteligencia artificial ha transformado la resolución de problemas, siendo una herramienta invaluable en la investigación de operaciones. Este estudio se centra en el papel crucial del análisis predictivo en la optimización del tiempo de servicio en modelos de colas, especialmente en situaciones donde los clientes esperan ser atendidos por recursos limitados. El tiempo de servicio, crucial para la satisfacción del cliente, cobra aún más relevancia en contextos específicos como centros de atención al cliente, hospitales o entidades financieras, donde la demora puede impactar negativamente la experiencia del cliente. Este estudio elige el análisis predictivo por su capacidad para utilizar datos históricos y prever con precisión el comportamiento futuro, permitiendo a las empresas optimizar recursos proactivamente y mejorar la eficiencia en respuesta a fluctuaciones en la demanda del servicio. El objetivo es desarrollar un enfoque basado en el análisis predictivo, aplicándolo a datos históricos para no solo prever la demanda futura, sino también crear un modelo de optimización que contribuya significativamente al rendimiento y calidad del sistema [1].

## 2 Marco teórico

### 2.1 Teoría de colas

La teoría de colas es una rama de la investigación de operaciones que se ocupa del estudio de los sistemas de colas. Un sistema de colas es un sistema donde los clientes esperan para ser atendidos por recursos limitados [2]. La teoría de colas se utiliza para analizar el comportamiento de los sistemas de colas. Los modelos de teoría de colas pueden utilizarse para predecir el tiempo de espera, la capacidad del sistema y otros factores importantes [3].

## 2.2 Análisis predictivo

El análisis predictivo es un área de la inteligencia artificial que se ocupa de la predicción del comportamiento futuro. El análisis predictivo utiliza datos históricos para prever lo que sucederá en el futuro [4]. El análisis predictivo se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, como la planificación, la optimización y el control. En el contexto de la teoría de colas, el análisis predictivo se puede utilizar para prever la demanda, el tiempo de servicio y otros factores importantes [5].

### 2.2.1 Ejemplos de la aplicación específica de modelos predictivos en el tiempo de servicio de sistemas de colas:

- Modelos de regresión aplicados al tiempo de servicio: En el contexto de la teoría de colas, los modelos de regresión pueden predecir el tiempo de servicio en función de variables como la demanda de clientes, la capacidad del sistema y las características específicas del servicio. Por ejemplo, un modelo de regresión podría prever el tiempo de espera en un centro de llamadas en función del número de operadores disponibles.
- Modelos de clasificación para tipos de clientes: Utilizando modelos de clasificación, se puede prever el tipo de cliente y asignar prioridades en función de la urgencia del servicio requerido. En un hospital, por ejemplo, un modelo de clasificación podría predecir si un paciente necesita atención inmediata o puede esperar un tiempo más prolongado.

## 3 Técnicas aplicables al análisis predictivo

Las técnicas aplicables al análisis predictivo son las herramientas que se utilizan para realizar predicciones sobre el comportamiento futuro [6]. Estas técnicas pueden utilizar datos históricos para identificar patrones y tendencias que pueden ayudar a prever lo que sucederá en el futuro.

### 3.1 Técnicas de regresión

Las técnicas de regresión serán fundamentales para estimar la relación entre variables clave que afectan al tiempo de servicio en sistemas de colas. En este estudio, se utilizarán técnicas de regresión para modelar la influencia de factores como la demanda de clientes, la capacidad del sistema y otras variables relevantes en el tiempo de servicio [7].

### 3.2 Regresión lineal

La regresión lineal será empleada para modelar relaciones lineales entre la variable dependiente (tiempo de servicio) y las variables independientes. Por ejemplo, se puede utilizar la regresión lineal para prever cómo cambios en la demanda de clientes impactarán directamente en el tiempo de espera en un sistema de colas específico [7]. La ecuación de una regresión lineal es:  $y = a + bx$ , donde  $y$  es la variable dependiente,  $a$  es la ordenada al origen,  $b$  es la pendiente, y  $x$  es la variable independiente.

## 4 Aplicaciones del Análisis Predictivo

El análisis predictivo ofrece diversas aplicaciones que pueden ser especialmente beneficiosas en la optimización del tiempo de servicio en sistemas de colas. A continuación, se presentan ejemplos específicos de cómo las empresas pueden aprovechar estas aplicaciones:

- Optimización del personal: El análisis predictivo se puede utilizar para optimizar los procesos o sistemas, lo que puede ayudar a las empresas a mejorar su eficiencia y rendimiento.
- Gestión de tiempos de espera: El análisis predictivo se puede utilizar para controlar los procesos o sistemas, lo que puede ayudar a las empresas a detectar y corregir problemas [8, 9].

- **Priorización de Clientes:** La priorización de clientes implica identificar y clasificar a los clientes según la urgencia de sus necesidades de servicio. El análisis predictivo facilita esta tarea al prever patrones de comportamiento y necesidades específicas.

## 5 Metodología

El objetivo de elevar la eficiencia en la atención del 911, desarrollamos una metodología integral que inició con la simulación realista del escenario de llamadas al 911. A través de análisis visual y la implementación de un modelo de regresión lineal, evaluamos la capacidad del sistema para prever la duración de las llamadas y exploramos relaciones clave mediante análisis de correlación. La presentación de resultados, incluyendo gráficos de dispersión, destacó áreas de mejora y proporcionó recomendaciones fundamentadas. El propósito de optimizar la gestión de citas médicas, diseñamos una metodología sólida que comenzó con la simulación detallada de la programación de citas. La exploración visual de datos, junto con un modelo de análisis predictivo, permitió anticipar tiempos de espera. Mediante análisis de correlación, identificamos factores clave que afectan la gestión de citas. La presentación de resultados, respaldada por gráficos claros, no solo señaló áreas de mejora, sino que también proporcionó recomendaciones bien fundamentadas.

## 6 Resultados

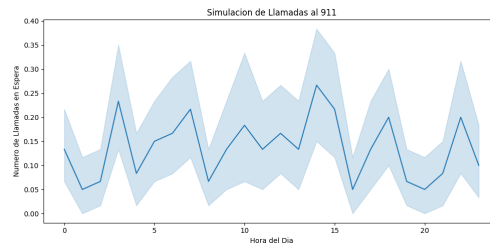


Figure 1: Se generaron datos simulados para representar el escenario de llamadas al 911. A continuación, se presentan gráficos que visualizan la distribución del número de llamadas en función de la hora del día.

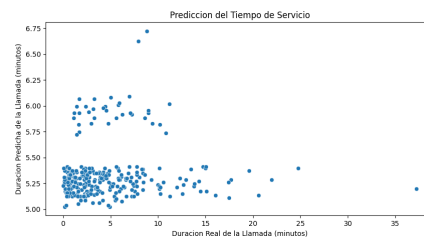


Figure 2: Se aplicó un modelo de regresión lineal para prever la duración de las llamadas. Los siguientes gráficos comparan las predicciones del modelo con los valores reales en el conjunto de prueba.

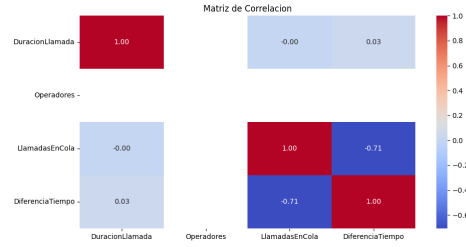


Figure 3: El análisis de correlación reveló las relaciones entre diversas variables, proporcionando información valiosa sobre cómo afectan al servicio del 911.

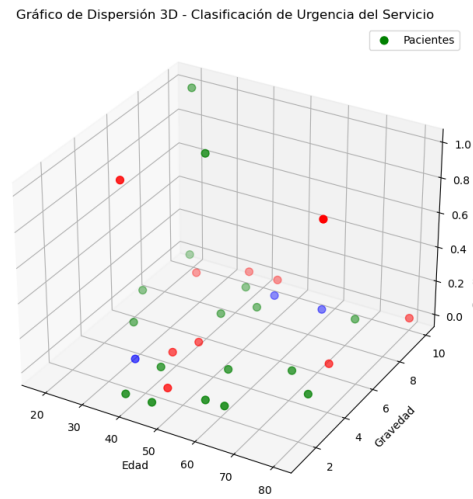


Figure 4: Visualización tridimensional de pacientes y sus predicciones de urgencia según edad, gravedad y condiciones médicas. Colores indican la urgencia prevista.

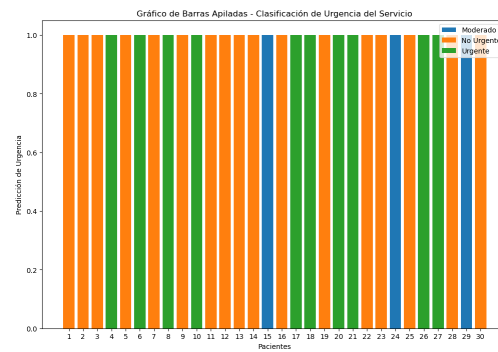


Figure 5: Representación visual de la predicción de urgencia para nuevos pacientes mediante barras apiladas y coloreadas.

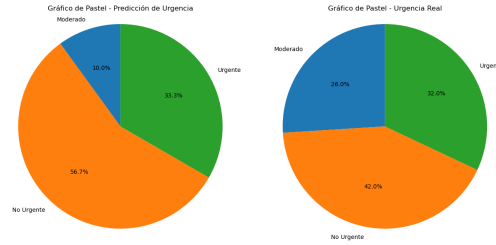


Figure 6: Proporciones visuales de las categorías de urgencia predichas para nuevos pacientes en un gráfico de pastel.

## 7 Conclusiones

Este estudio combina la teoría de colas con el análisis predictivo para hacer más eficiente el tiempo de servicio en situaciones donde los recursos son limitados. La teoría de colas se centra en cómo gestionar sistemas donde las personas esperan ser atendidas, mientras que el análisis predictivo, a través de modelos de regresión y clasificación, ayuda a prever la demanda y los tiempos de servicio. Esta fusión de enfoques proporciona una estrategia completa para mejorar la eficiencia en entornos con recursos limitados.

## 8 Anexos

I. Código fuente del artículo científico en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. [Ver]

<https://www.overleaf.com/read/krrmtwdbwvqh#7a1e18>

II. Código fuente de demostración de algoritmos programados. [Ver]

[https://github.com/netto14cr/Optimizacion\\_tiempo\\_servicio\\_I0](https://github.com/netto14cr/Optimizacion_tiempo_servicio_I0)

III. Programa web con demostración de algoritmos. [Ver]

<https://netto14cr.pythonanywhere.com/>

## 9 Referencias

1. García, M., & González, J. (2023). Cómo las analíticas predictivas pueden mejorar la optimización del tiempo de servicio en modelos de colas.
2. Kendall, D. G. (1953). Some problems in the theory of queues. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 15(3), 338-354.
3. Gross, D., & Harris, C. M. (1998). *Fundamentals of queueing theory*. Wiley.
4. Hand, D. J., Mannila, H., & Smyth, P. (2001). *Principles of data mining*. MIT press.
5. Witten, I. H., Frank, E., & Hall, M. A. (2011). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
6. Chatfield, C. (2003). *The analysis of time series: An introduction* (6th ed.). Chapman & Hall/CRC.
7. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning* (2nd ed.). Springer.
8. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R*. Springer.
9. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2002). *Introduction to time series and forecasting* (2nd ed.). Springer.
10. Chen, H. (2012). *Business intelligence and analytics: Systems for decision support* (2nd ed.). Morgan Kaufmann.

11. Davenport, T. H., & Harris, J. G. (2007). Competing on analytics: The new science of winning. Harvard Business Press.
12. Wickham, H. (2016). Tidyverse: Easily install and load the tidyverse. CRAN.R-project.org.
13. R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

## 10 Autoevaluación del grupo de trabajo

Criterio	Ismael Salazar Blanco	Néstor Leiva Mora	Franklin Quesada Tames
Contribuyó con el Proyecto	x	x	x
Colaboró con el Grupo	x	x	x
Cumplió con los requerimientos	x	x	x
Comunicación Efectiva	x	x	x

En la autoevaluación, todos dimos el 110%. Nos repartimos las tareas de manera justa con compromiso. La comunicación fue clave y demostramos que somos un equipo y todos contribuyeron de manera significativa.