

## Optimización de disciplinas de colas con simulación de eventos discretos: Una revisión teórica y empírica

Darío Morones Ruelas\*  
Reyna Elizabeth Rodríguez Pérez\*\*  
David Castro Lugo\*\*\*

\* Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios Universidad Autónoma de Coahuila  
damorones@uadec.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-5043-8575>

\*\* Facultad de Economía. Universidad Autónoma de Coahuila  
reynarodriguez@uadec.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-5061-0574>

\*\*\* Centro de Investigaciones Socioeconómicas  
[david.castro@uadec.edu.mx](mailto:david.castro@uadec.edu.mx)  
<https://orcid.org/0000-0003-0130-7197>

### Resumen

El análisis de sistemas de servicio que implementan colas con disciplina de prioridad ha ganado importancia en sectores donde la eficiencia operativa es crítica. Estos modelos son fundamentales para optimizar el uso de recursos, reduciendo tiempos de espera y mejorando la respuesta del sistema frente a demandas fluctuantes. La integración de teorías de colas con prioridad y la simulación de eventos discretos facilita la evaluación de estrategias operativas en condiciones variadas, permitiendo a los administradores adaptar recursos de manera más efectiva. Investigaciones recientes han incorporado elementos de lógica difusa para abordar la incertidumbre en las tasas de llegada y servicio, proporcionando un marco más flexible y robusto para el modelado de colas. Estudios sugieren que sistemas bien gestionados no solo mejoran los indicadores de rendimiento, sino que también apoyan una toma de decisiones estratégica basada en datos. Con el avance de las tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático, se anticipa que los modelos de colas con prioridad ofrecerán aún más capacidades de predicción y adaptación, marcando un desarrollo significativo en la gestión de operaciones y sistemas informáticos. Este campo sigue siendo prolífico para la investigación, con potencial para revolucionar prácticas en industrias que dependen de la gestión eficiente de la espera y el servicio.

**Palabras clave:** investigación de operaciones; análisis de costo-beneficio; modelos de programación.

**Clasificador JEL:** C44, D61, C6

*Optimization of queuing disciplines with discrete event simulation: A theoretical and empirical review*

### Abstract

*The analysis of service systems that implement queuing with priority discipline has gained importance in sectors where operational efficiency is critical. These models are fundamental to optimize the use of resources, reducing waiting times and improving system response to fluctuating demands. The integration of prioritized queuing theories and discrete event simulation facilitates the evaluation of operational strategies under varying conditions, allowing managers to adapt resources more effectively. Recent research has incorporated elements of fuzzy logic to address uncertainty in arrival and service rates, providing a more flexible and robust framework for queue modeling. Studies suggest that well-managed systems not only improve performance indicators, but also support data-driven strategic decision making. With the advancement of artificial intelligence and machine learning technologies, it is anticipated that prioritized queuing models will offer even more predictive and adaptive capabilities, marking a significant development in operations management and IT systems. This field remains prolific for research, with potential to revolutionize practices in industries that rely on efficient queuing and service management*

**Keywords:** operations research; cost-benefit analysis; programming models.

JEL: C44, D61, C6

## I. Introducción

En la gestión moderna de sistemas y operaciones del suministro, las teorías de colas con disciplina de prioridad se han consolidado como una herramienta esencial para mejorar la eficiencia y la efectividad en múltiples contextos, desde la administración de tráfico de datos hasta el procesamiento de solicitudes en sistemas y servicios de atención al cliente. (Liu, 2020). La teoría de colas, con su capacidad para modelar y analizar el comportamiento de colas en sistemas donde los recursos son limitados (Jafarnejad, 2019), se ha enriquecido significativamente con la aplicación de la simulación de eventos discretos y técnicas de lógica difusa, proporcionando un marco más robusto para gestionar la incertidumbre inherente a los procesos reales (Ghaleb, 2019).

Las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) son vitales para la economía global, impulsando la producción y el empleo y fomentando el progreso social. Estas empresas exhiben una notable agilidad y flexibilidad, esenciales para adaptarse a los rápidos cambios del mercado (Cleri, 2013).

La eficacia de las cadenas de suministro es crítica para las Mipymes, especialmente en un contexto de ciclos de vida cortos de productos y demanda fluctuante. Una cadena de suministro bien coordinada es esencial para anticipar y mitigar eventos disruptivos, siendo clave para la competitividad (Madhani, 2020).

Los desafíos son abundantes, especialmente en la integración de nuevas tecnologías y competencias esenciales para la eficiencia operativa. La adaptabilidad y la capacidad para operar bajo incertidumbre son cruciales (Singh, 2011; Leonczuk, 2021).

Finalmente, las cadenas de suministro modernas requieren un equilibrio entre respuesta rápida y control de costos, lo cual demanda una estrategia bien definida para manejar productos con diferentes patrones de demanda (Fisher, 1997; Rashad, 2020).

Sin embargo, las rigurosas exigencias de la gestión de las Mipymes a menudo impiden la integración de nuevas competencias y la mejora de habilidades de gestión esenciales, que son cruciales para lograr eficacia y eficiencia operativas (Singh, 2011). Este escenario subraya la importancia de la adaptabilidad: la capacidad de navegar en condiciones ambientales cambiantes con información incompleta sobre los mecanismos del mercado (Leonczuk, 2021).

Los patrones de demanda requieren diferentes enfoques estratégicos dentro de las SC, distinguiendo entre productos funcionales con demanda estable y productos

innovadores caracterizados por ciclos de vida cortos y demanda incierta (Fisher, 1997). Las CS modernas se esfuerzan por lograr un equilibrio entre una respuesta rápida del mercado y el control de costos, un acto de equilibrio que requiere perspicacia estratégica (Rashad, 2020).

La integración de estrategias lean y ágiles en las CS (leagilidad) ha surgido como un concepto crítico. La leagilidad combina principios lean centrados en la reducción de residuos y la mejora continua de procesos con estrategias ágiles que enfatizan la flexibilidad y la respuesta rápida a las demandas fluctuantes (Madhani, 2017; Agus, 2012; Alzoubi, 2020; Jeff, 2020; Gligor, 2013). La leagilidad, tal como la conceptualiza Naylor (1999), representa una fusión de estas filosofías, aplicadas a través de técnicas de desacoplamiento que consideran las fluctuaciones de la demanda, la diversidad de productos, los niveles de satisfacción del cliente y los costos. Esta integración ha mostrado beneficios potenciales para las Mipymes, particularmente en entornos desafiantes y competitivos como en Saltillo, Coahuila.

El problema abordado en esta investigación se centra en cómo la implementación de disciplinas de colas con prioridades variables puede optimizar los tiempos de respuesta y la satisfacción del usuario en un entorno dinámico y altamente variable. En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de diferentes disciplinas de prioridad en la eficiencia operativa de los sistemas de servicio?

El objetivo es hacer una revisión teórica y empírica sobre las diferentes disciplinas de prioridad y como afectan los tiempos de espera y de servicio en sistemas modelados, y a partir de ello, determinar la efectividad de la simulación de eventos discretos para predecir y mejorar la gestión de colas.

La hipótesis principal de este estudio es que las políticas de prioridad tienen un impacto significativo en la eficiencia operativa y están estrechamente relacionadas con la satisfacción del cliente. Específicamente, se propone que las políticas de prioridad bien implementadas pueden reducir los tiempos de espera y mejorar la calidad del servicio percibido por los clientes.

Este trabajo se centra en la revisión y análisis sistemático de la literatura encontrada en torno a como las diferentes disciplinas de prioridad afectan los tiempos de espera y de servicio en sistemas modelados. El tipo de investigación realizado fue exploratorio y tiene la intención determinar la efectividad de la simulación de eventos discretos para predecir y mejorar la gestión de colas.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. La primera parte describe la evolución reciente de los modelos de teoría de colas, enfocándose en la hipótesis del impacto de las políticas de prioridad en la eficiencia operativa y su relación con la satisfacción del cliente. La segunda parte muestra la evidencia empírica que respalda cómo distintas políticas de prioridad afectan los tiempos de servicio y la satisfacción del cliente. En el tercer apartado se analiza en conjunto el efecto de las políticas de prioridad vinculado con los atributos previamente analizados, utilizando tanto simulaciones de eventos discretos como modelos de lógica difusa. Por último, se presentan las conclusiones y se sugieren futuras líneas de investigación.

## **II. Revisión empírica y teórica de la evolución reciente**

De una serie de estudios sobre el tema realizados en distintos países se desprende que la utilización de disciplinas con prioridad en colas varía significativamente en los distintos sectores, como la sanidad, la fabricación y los servicios de atención al cliente (Cui, 2023). Estos estudios suelen poner de relieve que la eficacia de las disciplinas de colas puede afectar drásticamente no sólo a las métricas operativas, como el rendimiento y el tiempo de espera, sino también a la percepción que tienen los clientes de la calidad y satisfacción del servicio.

La investigación ha identificado que los sistemas que emplean modelos de prioridad preferente, en los que las tareas de alta prioridad se procesan antes que otras independientemente de sus tiempos de llegada, tienden a funcionar mejor en entornos en los que el costo de la espera es elevado (Le, T. N, 2022). Esto es especialmente cierto en los servicios sanitarios de urgencia, donde dar prioridad a los cuidados críticos puede suponer mejoras significativas en los resultados de los pacientes (Déry, 2020). Por el contrario, los modelos de prioridad no preventiva, en los que las tareas sólo se priorizan en el momento en que deben procesarse, han demostrado su eficacia en entornos de servicios menos críticos, como los centros de atención telefónica o los procesos de fabricación en los que las fases de producción deben seguirse estrictamente en secuencia (Afolalu, 2021).

Otros análisis empíricos se han basado en datos de simulaciones de eventos discretos para explorar cómo afectan las distintas reglas de prioridad a la dinámica de las redes de colas complejas. (Serper, 2022). Estas simulaciones incorporan a menudo elementos de lógica difusa para hacer frente a las incertidumbres del comportamiento del sistema, como la fluctuación de las tasas de llegada y los tiempos de servicio. El enfoque de los sistemas difusos permite a los gestores comprender cómo pueden funcionar las distintas configuraciones de prioridad en

condiciones variables de incertidumbre y adaptar las disciplinas de colas que mejor se adapten a sus contextos operativos específicos (Ghaleb, 2019).

Modelos matemáticos aplicados en cadenas de Markov, procesos de nacimiento-muerte, redes de colas, modelos de simulación y modelos de lógica difusa son fundamentales para optimizar las estrategias de gestión de colas. Estos modelos proporcionan un marco sólido para simular diversos escenarios de colas, ayudando a los gestores a predecir el impacto de las distintas disciplinas de colas en la eficiencia del servicio y la satisfacción del cliente. Al integrar tanto conocimientos teóricos como datos empíricos, estos modelos constituyen la columna vertebral de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones, permitiendo una toma de decisiones precisa e informada para mejorar la eficiencia operativa y la calidad del servicio en entornos en los que la gestión eficaz de las colas es fundamental (Raicu, 2023).

Estos exhaustivos estudios indican que la aplicación con éxito de las disciplinas de colas prioritarias requiere una comprensión matizada tanto de los fundamentos teóricos como de las aplicaciones prácticas de la gestión de colas. Por ello, la investigación en curso sigue perfeccionando estos modelos, con el objetivo de ofrecer herramientas más sofisticadas que puedan adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes de los entornos de servicio, mejorando en última instancia tanto la eficiencia como la satisfacción del cliente en diversos sectores.

La hipótesis del impacto de las políticas de prioridad en la eficiencia operativa y su relación con la satisfacción del cliente postula que los sistemas de colas prioritarias diseñados estratégicamente pueden mejorar simultáneamente las métricas operativas y la percepción de la calidad del servicio por parte del cliente. Este doble enfoque es crucial, ya que la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente suelen considerarse objetivos interdependientes, aunque a veces contrapuestos, dentro de la gestión de servicios. Este estudio se apoya en investigaciones que han demostrado la utilidad de la lógica difusa para manejar la variabilidad y la incertidumbre de los parámetros del sistema (Li y Lee, 1989; Buckley, 1990), y amplía estos trabajos al explorar su aplicación en combinación con simulaciones de eventos discretos en un marco de colas prioritarias.

Para evaluar esta hipótesis, los investigadores han llevado a cabo diversos estudios que combinan métodos cuantitativos y mecanismos cualitativos de retroalimentación. Los aspectos cuantitativos suelen consistir en la medición de indicadores clave de rendimiento, como el tiempo medio de espera, la velocidad del servicio y la tasa de rendimiento en escenarios en los que se aplican distintas políticas de prioridad. Desde el punto de vista cualitativo, la satisfacción del cliente se evalúa mediante encuestas y formularios de opinión que miden las experiencias

de los usuarios y los niveles de satisfacción tras la prestación del servicio (Ghaleb et al., 2019; Dalmia *et al.*, 2022).

Los datos empíricos sugieren que las políticas de prioridad adaptadas a las necesidades y expectativas específicas de los clientes pueden dar lugar a mayores índices de satisfacción (Nosek, 2001). Por ejemplo, en contextos de alta urgencia como los servicios de urgencias, los pacientes priorizan los tiempos de espera cortos por encima de todo. En este caso, un sistema de prioridades que acelere el servicio para los casos de alta urgencia mejora significativamente la satisfacción del paciente y su percepción de la calidad de la atención (Déry, 2020). Del mismo modo, en sectores como las telecomunicaciones, donde las interrupciones del servicio pueden provocar una importante insatisfacción de los clientes, las políticas de prioridad que minimizan el tiempo de inactividad por problemas críticos son muy valoradas por los clientes (Afolalu, 2021).

En el plano teórico, los modelos de gestión de colas incorporan conceptos de la investigación operativa y las ciencias del comportamiento para predecir cómo afectan los cambios en la configuración de las colas tanto a la eficiencia como a la satisfacción. Estos modelos utilizan a menudo técnicas de simulación para explorar escenarios hipotéticos, proporcionando información sobre el impacto potencial de las políticas de prioridad bajo diferentes restricciones operativas y expectativas de los clientes ( Tian, 2022).

La relación entre la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente también se examina desde el punto de vista de la equidad percibida, que desempeña un papel crucial en la forma en que los clientes reciben las políticas de prioridad. La investigación indica que la transparencia en los criterios de los niveles de prioridad y la aplicación coherente de estos criterios son fundamentales para mantener una sensación de equidad, lo que a su vez favorece las reacciones positivas de los clientes (Kataria, 2022).

En última instancia, la hipótesis propuesta se ve respaldada por una síntesis de datos empíricos y modelos teóricos, lo que sugiere que unas políticas de prioridad bien aplicadas pueden, en efecto, optimizar la eficiencia operativa al tiempo que mejoran la satisfacción del cliente. Esta sinergia se consigue con mayor eficacia cuando en el diseño del sistema de colas se tienen en cuenta las características específicas de la clientela y el contexto operativo. Por ello, la investigación en curso sigue perfeccionando estos enfoques, con el objetivo de proporcionar una comprensión matizada que pueda adaptarse a diversas industrias de servicios.

## **Evidencia empírica**

## 2.1. Efectos de la priorización en sistemas con distintos niveles de carga

### 2.1.1. Relación entre tiempo de espera y la satisfacción del usuario

En la gestión de operaciones, especialmente en entornos que implican colas y tiempos de espera, comprender cómo estos factores impactan la percepción y la satisfacción del usuario es crucial. El tiempo de espera es a menudo el aspecto más crítico de la experiencia del usuario y puede influir significativamente en la satisfacción general y la lealtad del cliente (Ayodeji, 2023). La teoría de colas proporciona un marco para analizar la relación entre el tiempo de espera y la satisfacción del usuario, considerando que los tiempos de espera más largos tienden a disminuir la satisfacción (Adeniran, 2022). Diversos estudios han demostrado que la percepción del tiempo de espera no siempre es lineal y puede estar influida por factores como el conocimiento previo del tiempo de espera, la ocupación durante el tiempo de espera, y la justicia percibida del proceso de espera.

En el 2019, mediante un experimento controlado con 257 estudiantes, se evaluó el impacto de ampliar los tiempos de espera previstos (TEP) con la satisfacción de los pacientes en entornos similares a los grandes hospitales chinos por su gran demanda de especialistas y equipos avanzados. Dividiendo a los participantes en grupos de control y experimental, este último se le brindó información desfavorable para que prolongara su TEP. Mediante la prueba de Mann-Whitney y pruebas de chi-cuadrado, se descubrió que la satisfacción de los pacientes aumentaba significativamente si la información desfavorable se comunicada de manera efectiva a pesar de los largos tiempos de espera (Ma, 2019).

Los aeropuertos internacionales han implantado sistemas de priorización que permiten a los viajeros pasar por un control de seguridad acelerado. Los estudios han demostrado que los participantes en este programa experimentan tiempos de espera significativamente más cortos y declaran mayores niveles de satisfacción, con el beneficio añadido de reducir la congestión para los viajeros habituales. La metodología utilizada en estos estudios consiste en la simulación de eventos discretos de los procesos de seguridad aeroportuaria, incorporando datos sobre flujos de pasajeros y tiempos de control para evaluar la eficacia de diversas estrategias de gestión de colas, incluido el control prioritario. Los resultados indicaron que el control prioritario reducía significativamente los tiempos de espera de los pasajeros prioritarios en un 30-40% y aumentaba el rendimiento global del puesto de control en un 15%, mejorando también el flujo en las colas estándar y la satisfacción de los pasajeros en un 20% (Halpern, 2021).

Los bancos han introducido sistemas de cita previa y colas prioritarias para los clientes prioritarios, gestionando eficazmente el flujo en las sucursales. Este

método no sólo reduce el tiempo de espera de los clientes prioritarios, sino que también permite a los bancos asignar servicios más personalizados, mejorando la satisfacción y retención de los clientes. Los bancos utilizan sistemas digitales de gestión de colas que permiten a los clientes unirse a colas virtuales y recibir actualizaciones en tiempo real, lo que ayuda a gestionar los recursos con eficacia y a mantener un alto nivel de servicio al cliente (Olayinka, 2024).

Algunas grandes cadenas de supermercados han aprovechado los sistemas dinámicos de gestión de colas en horas punta para optimizar el flujo de clientes, utilizando datos en tiempo real para abrir cajas adicionales en función de las necesidades. Este enfoque reactivo no sólo ha reducido los tiempos de espera, sino que también ha repercutido positivamente en la satisfacción y el gasto de los clientes. La aplicación de modelos dinámicos de colas, que utilizan modelos estadísticos en las tasas de llegada, las tasas de servicio y el número de servidores, ha demostrado un aumento significativo de la eficiencia. La investigación puso de relieve una reducción del 30% en los tiempos medios de espera durante los periodos pico. Además, los datos recogidos a través de la observación en tiempo real indicaron un aumento del 20% en el gasto de los clientes, junto con un aumento del 15% en los niveles de satisfacción cuando se minimizaban los tiempos de espera. Estos resultados subrayan la eficacia de las estrategias de adaptación de colas para gestionar los flujos de clientes y mejorar la experiencia de compra (Lu, 2013).

Las autoridades de transporte público de las zonas urbanas han implantado con éxito sistemas avanzados de gestión de colas que utilizan la simulación de eventos discretos y la lógica difusa para ajustar los servicios de venta de boletos en función de la demanda en tiempo real. Al dar prioridad al acceso a taquillas y máquinas expendedoras en horas pico, estos innovadores sistemas asignan recursos de forma dinámica, reduciendo así significativamente el tiempo medio de espera hasta en un 30%. Este enfoque estratégico ha mejorado la experiencia de los usuarios, lo que se ha traducido en un aumento del 25% en los índices de satisfacción de los clientes. Los resultados de la simulación, basados en datos que reflejan los flujos típicos de viajeros y los patrones de uso del servicio, demuestran la eficacia de este método para gestionar las colas de forma eficiente, y el modelo predice un aumento del 20% en el rendimiento durante las horas pico (Bell, 2018).

De acuerdo con Li (2023) los principales parques temáticos han introducido sistemas de pases rápidos que permiten a los visitantes programar el acceso a las atracciones más populares, reduciendo eficazmente sus tiempos de espera. Esta priorización no sólo ha mejorado la experiencia general de los visitantes, sino que también ha optimizado la distribución de las multitudes por el parque, aumentando significativamente los índices de satisfacción de los visitantes. Se utilizó un modelo

de simulación de eventos discretos para evaluar el impacto de estos sistemas de pases rápidos en la satisfacción de los turistas y los beneficios de los parques temáticos. El estudio, que empleaba datos sobre llegadas diarias de turistas, capacidad de las atracciones y preferencias en las colas, constató notables mejoras en la experiencia de los visitantes. Por ejemplo, en un escenario de colas estándar, la utilidad del viaje del turista se registró en -366,12 Yenes y los beneficios del parque temático en 478.620 Yenes. Sin embargo, con el sistema de pases rápidos, aunque los beneficios disminuyeron a 59.990 Yenes, la utilidad del viaje turístico mejoró a -236,03 Yenes, lo que subraya el aumento sustancial de la satisfacción de los visitantes.

Los restaurantes de servicio rápido han adoptado sistemas digitales de priorización de colas y pedidos, especialmente para los servicios de comida para llevar y reparto. Estos sistemas analizan la complejidad de los pedidos y el tiempo de preparación para priorizar los flujos de trabajo en la cocina, minimizando así los tiempos de espera de los clientes y mejorando la satisfacción con la rapidez del servicio. Según el estudio de 2022, la implantación de estos sistemas se tradujo en una reducción del 30% del tiempo total de espera de los clientes y un aumento del 25% de la eficacia en el procesamiento de pedidos. El estudio utilizó la simulación de eventos discretos para modelizar estas mejoras, con datos derivados de operaciones de restaurantes del mundo real que incluían la llegada de clientes, la complejidad de los pedidos y los tiempos de preparación. Los resultados cuantitativos demostraron claramente que los sistemas digitales de priorización no sólo mejoran la eficiencia operativa, sino que también mejoran significativamente la experiencia del cliente (Roy, 2022).

Los centros de atención telefónica han utilizado modelos avanzados de teoría de colas para priorizar las llamadas en función de la urgencia y el perfil del cliente, como se analiza en el estudio realizado por Hassan en el 2024. Mediante simulación de eventos discretos, este enfoque probó varias configuraciones, estableciendo prioridades basadas en categorías de clientes predefinidas. El estudio detalló cómo los cambios en las tasas de llegada ( $\lambda$ ) y de servicio ( $\mu$ ) influían en el rendimiento general del sistema, capturando métricas como el tiempo medio de espera y la eficiencia en la resolución de llamadas. Las simulaciones indicaron una reducción del tiempo medio de espera de hasta el 30% y una mejora de la eficiencia en la resolución de llamadas del 25% cuando se aplicaban eficazmente protocolos de alta prioridad. Este enfoque por capas garantiza que los problemas críticos se aborden con prontitud, lo que conduce a una mayor satisfacción del cliente y a una gestión más eficiente de las llamadas (Hassan, 2024).

La implantación estratégica de sistemas de gestión de colas en diversos sectores pone de relieve el papel fundamental que desempeña la gestión eficaz del tiempo de espera para mejorar la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa. Desde hospitales hasta el transporte público, las estrategias de gestión de colas mejoran significativamente la experiencia del usuario al minimizar los tiempos de espera y gestionar eficazmente las expectativas del cliente. En el ejemplo de los aeropuertos que implantan sistemas de control prioritario no sólo agilizan el proceso para los viajeros seleccionados, sino que también mejoran el flujo para los pasajeros habituales, lo que demuestra una mejora holística en la prestación de servicios. Del mismo modo, los bancos que incorporan sistemas digitales de gestión de colas pueden ofrecer servicios más personalizados y gestionar los flujos de los clientes de forma más eficiente, aumentando así su satisfacción y retención. En el medio de las Mipymes, la gestión dinámica de colas ajusta los recursos en tiempo real para satisfacer las fluctuaciones de la demanda, lo que reduce los tiempos de espera y aumenta lo dispuesto a gastar por parte de los clientes. Estas prácticas muestran que la gestión proactiva de colas, respaldada por sólidos modelos matemáticos y análisis de datos en tiempo real, son indispensables en las Mipymes, para mantener altos niveles de satisfacción y fidelidad de los clientes.

### **2.1.2. Impacto de diferentes disciplinas de cola en la eficiencia operativa**

Comprender el impacto de las distintas disciplinas de colas en la eficiencia operativa es crucial en los distintos sectores, ya que influye significativamente tanto en la calidad del servicio como en la satisfacción del cliente. Las disciplinas de colas, como el orden de llegada (PEPS), las colas prioritarias y el orden de llegada (UEPS), tienen implicaciones únicas en la forma en que se prestan los servicios y se utilizan los recursos.

#### **a. Por orden de llegada. Primeras entradas primeras salidas (PEPS)**

La disciplina PEPS es un modelo de cola sencillo y ampliamente reconocido en el que se atiende a los clientes en el orden en que llegan. En general, este método se percibe como equitativo y sencillo de implementar. Sin embargo, puede generar ineficiencias en contextos donde los tiempos de servicio varían significativamente entre los clientes, como lo es la industria bancaria (Olayinka, 2024). En tal escenario, un cliente que requiere una transacción rápida puede verse retrasado por clientes anteriores con necesidades que consumen más tiempo, lo que lleva a un uso subóptimo de los recursos y a un aumento general de los tiempos de espera.

Para abordar estas ineficiencias, varios estudios aplicados han explorado disciplinas alternativas de colas y sus impactos. Por ejemplo, los modelos de prioridad preventivos y no preventivos se han estudiado ampliamente dentro de marcos de colas difusas, donde las incertidumbres en las tarifas de llegada y servicio se

modelan utilizando la teoría de conjuntos difusos. Este enfoque permite un manejo más matizado de los diferentes tiempos de servicio y prioridades de los clientes, optimizando el rendimiento de las colas y la utilización de recursos en condiciones de incertidumbre (Ritha, 2010).

Además, se ha propuesto el uso de algoritmos de colas dinámicos y adaptativos, donde las prioridades pueden ajustarse en tiempo real en función de las condiciones de cola actuales y las tarifas de servicio. Estos sistemas dinámicos son particularmente útiles en entornos con alta variabilidad en las solicitudes de servicios y patrones de llegada de clientes, como las telecomunicaciones o los servicios de computación en la nube (Dalmia, 2022).

### **b. Colas prioritarias**

Los sistemas de colas prioritarias, al utilizar simulación de eventos discretos, se vuelven efectivos en la gestión del flujo de clientes, clasificándolos según diversos criterios, como urgencia, estado del cliente o tipo de transacción, lo que garantiza que las necesidades críticas se satisfagan de forma rápida y eficiente. En los hospitales, las colas de prioridad son cruciales para asignar prioridades a los pacientes según la gravedad de sus afecciones médicas. Al emplear colas prioritarias, los centros de atención médica pueden asignar recursos de manera más efectiva, asegurando que los pacientes con las necesidades más urgentes reciban atención inmediata. Este método se aplicó en un caso de estudio donde los modelos de simulación mostraron mejoras significativas en los tiempos de espera de los pacientes y la eficiencia general del servicio (Ma, 2019).

También, los sistemas de colas prioritarias se aplican en otros sectores que requieren una gestión eficiente del servicio, como lo es el soporte técnico y los centros de atención al cliente. En estos entornos, se han utilizado métodos como el algoritmo de programación de prioridades de procesos basado en colas dinámicas listas para permitir que los clientes con problemas urgentes reciban un servicio más rápido, mejorando así la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa (Ferrand, 2018). Las investigaciones y los casos de estudios en estos campos, como los descritos en la literatura reciente, resaltan cómo priorizar las consultas en función de la urgencia o el impacto potencial lo que puede conducir a un uso más eficaz de los recursos y una mejor prestación de servicios en general. Tomando como referencia que la introducción de la teoría de conjuntos difusos en las colas de prioridad ha optimizado las tasas de servicio y la satisfacción del cliente en los sistemas de redes informáticas, como lo demuestran ejemplos numéricos en estudios relevantes (Ritha, Robert, 2010).

### **c. Último en entrar, primero en salir (UEPS)**

El sistema de últimas entradas-primeras salidas (UEPS), los últimos en llegar son los primeros en ser atendidos, es menos común, pero puede resultar especialmente útil en determinados contextos operativos, como lo son la gestión de tareas dentro de una estructura de datos apilados en un ordenador de sistemas. En situaciones en las que la tarea más reciente suele ser la más urgente, UEPS puede aumentar la eficiencia al resolver problemas críticos más rápidamente. Sin embargo, en contextos de servicio al cliente, UEPS puede causar insatisfacción entre aquellos que son ignorados por los recién llegados, lo que puede afectar negativamente las percepciones de justicia y satisfacción del cliente.

Este sistema de gestión de colas es particularmente ventajoso en tecnologías de la información y logística, donde las tareas o elementos más recientes a menudo necesitan atención urgente. Por ejemplo, en sistemas informáticos que emplean estructuras de datos apiladas, como pilas de llamadas en programación, UEPS garantiza que las llamadas a funciones iniciadas más recientemente se completen primero, lo cual es crucial para ejecutar el software de manera eficiente. Un estudio de caso realizado por Khot (2017) demostró esta aplicación y mostró cómo UEPS mejoró el rendimiento de los entornos de programación en algoritmos al detalle, garantizando que las tareas recientes más críticas se priorizaran y ejecutaran con prontitud.

UEPS también es aplicable en la gestión de inventarios, donde los productos con condiciones como fechas de vencimiento o artículos de moda con relevancia estacional deben venderse rápidamente para evitar la obsolescencia o el deterioro. Gioia (2023) utilizó un enfoque de análisis cuantitativo en su estudio de caso, centrándose en una empresa minorista de moda que luchaba con altos niveles de inventario no vendido debido a las tendencias estacionales. El estudio aplicó el método UEPS al sistema de gestión de inventarios de la empresa, analizando datos durante un período de un año. Los resultados demostraron que, al priorizar la venta de artículos más nuevos del inventario, la empresa experimentó una reducción del 30 % en el desperdicio y un aumento del 20 % en la facturación de ventas, destacando la eficacia de UEPS en la gestión de productos con una vida útil limitada.

#### **d. Gestión dinámica de colas**

Los sistemas dinámicos de gestión de colas aprovechan los datos en tiempo real para ajustar dinámicamente la disciplina de las colas, mejorando tanto la prestación de servicios como la eficiencia operativa. En un estudio de Dalmia *et al.* (2022), el algoritmo de programación de prioridades de procesos basado en colas dinámicas listas se aplicó a la programación de CPU, demostrando una reducción significativa en el tiempo de espera, el tiempo de respuesta y los cambios de contexto, al ajustar

dinámicamente la cantidad de tiempo y priorizar los procesos basados en datos en tiempo real.

Los supermercados ejemplifican este enfoque al abrir nuevas líneas de pago durante las horas pico o cuando la longitud de las colas existentes excede los umbrales predefinidos. Esta estrategia garantiza tiempos de espera más cortos para los clientes y una distribución equilibrada de la carga de trabajo entre el personal, optimizando así la utilización del personal y manteniendo altos niveles de calidad del servicio (Tan, 2013).

Los estudios aplicados han documentado la eficacia de dichos sistemas en diversos sectores. En investigaciones en centros de transporte como aeropuertos y estaciones de autobuses muestra que la gestión dinámica de colas puede reducir significativamente los tiempos de espera de los pasajeros y mejorar la satisfacción general al ajustar los parámetros del servicio en respuesta a los volúmenes fluctuantes de las colas. En una revisión exhaustiva, se destacó que la gestión dinámica de colas en los aeropuertos mejora la eficiencia operativa al adaptarse a los datos de flujo de pasajeros en tiempo real (Halpern, 2021; Bell, 2018). De manera similar, en el sector de la salud, los hospitales han implementado estos sistemas en las salas de emergencia para gestionar el flujo de pacientes de manera más efectiva, reduciendo así los períodos de espera y mejorando los resultados de los pacientes. Se ha demostrado que la implementación de sistemas dinámicos de gestión de colas en hospitales mejora significativamente la satisfacción del paciente y reduce los tiempos de espera en los departamentos de emergencia (Ma, 2019).

Además, los avances tecnológicos han facilitado implementaciones más sofisticadas de gestión dinámica de colas. Las Mipymes ahora suelen incorporar señalización digital y notificaciones de aplicaciones móviles para informar a los clientes sobre los tiempos de espera y el estado de las colas, lo que mejora la experiencia del cliente al brindar transparencia y reducir los tiempos de espera percibidos. Cueto (2022) analiza cómo las innovaciones digitales, como las actualizaciones en tiempo real a través de aplicaciones móviles y pantallas digitales, han mejorado la experiencia del cliente al ofrecer mayor transparencia y reducir la ansiedad asociada con la espera.

En general, los sistemas dinámicos de gestión de colas representan un componente crítico de la estrategia de servicio moderno y ofrecen mejoras sustanciales en la eficiencia y la satisfacción del cliente. Estos sistemas están respaldados por un sólido conjunto de investigaciones que indican su amplia aplicabilidad y beneficios en diversas industrias orientadas al consumidor.

### **e. Evaluación y adaptación**

La evaluación continua de las estrategias de gestión de colas es esencial. Las empresas suelen utilizar herramientas analíticas para evaluar el rendimiento de diferentes modelos de colas y adaptarlos en función de los resultados de eficiencia. Por ejemplo, los centros de llamadas pueden cambiar de un sistema de colas FIFO a un sistema de colas prioritario durante períodos de gran volumen para garantizar que los clientes VIP o las consultas urgentes sean atendidas con prontitud, manteniendo así la calidad del servicio sin comprometer la eficiencia operativa. Este enfoque ha sido validado por estudios que destacan los beneficios de una gestión de colas flexible para mantener altos niveles de servicio (Ramesh & Ghuru, 2014).

Cada una de estas disciplinas de colas, cuando se aplica estratégicamente, puede proporcionar distintas ventajas y desafíos para la eficiencia operativa. La clave para las organizaciones es comprender sus necesidades operativas específicas y las expectativas de los clientes para elegir la estrategia de colas más adecuada.

Un factor adicional para considerar es la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) en los sistemas de gestión de colas. Estas tecnologías pueden predecir la duración de las colas, identificar las horas punta y sugerir una asignación óptima de recursos en tiempo real. En los supermercados que utilizan sistemas basados en inteligencia artificial pueden predecir los momentos de mayor actividad y abrir dinámicamente más líneas de pago, lo que reduce significativamente los tiempos de espera y mejora la satisfacción del cliente. De manera similar, los hospitales que emplean algoritmos de aprendizaje automático pueden pronosticar la afluencia de pacientes y preparar los recursos en consecuencia, mejorando la eficiencia general de los departamentos de emergencia. El uso de IA y ML en la gestión dinámica de colas no solo agiliza las operaciones, sino que también proporciona un enfoque basado en datos para mejorar continuamente la calidad del servicio (Dalmia *et al.*, 2022).

#### **2.1.3. Comparación de costos operativos bajo distintos modelos de prioridad**

La aplicación de diversos modelos de prioridad en la gestión de colas puede influir significativamente en los costos operativos de una empresa. Analizar estos costos es vital para comprender el impacto financiero de cada modelo y determinar el enfoque más rentable para la gestión de colas.

##### **a. Por orden de llegada (PEPS)**

El modelo PEPS, aunque sencillo y fácil de implantar, no suele requerir una inversión significativa en tecnología o formación. Sin embargo, puede dar lugar a costos operativos más elevados en entornos en los que el tiempo de servicio varía mucho

de un cliente a otro. Por ejemplo, en sectores como la reparación de automóviles, la variabilidad en la complejidad del servicio puede provocar retrasos significativos, lo que genera ineficiencias y un aumento de los costos laborales, ya que los trabajadores esperan a que finalicen los trabajos largos para pasar a tareas más rápidas.

#### **b. Colas prioritarias**

Los sistemas de colas prioritarias, que consisten en clasificar a los clientes en función de criterios predefinidos, suelen requerir una tecnología más sofisticada y la formación del personal. Estos sistemas pueden reducir el tiempo de atención a los clientes prioritarios, pero pueden aumentar los costos operativos generales debido a la complejidad de gestionar múltiples colas y a la tecnología necesaria para dar soporte a estos sistemas. En hospitales, por ejemplo, los sistemas de prioridad pueden mejorar la asignación de recursos y reducir los tiempos de atención a pacientes críticos, lo que puede reducir los costos asociados a estancias hospitalarias prolongadas o a la intensificación de las necesidades de atención debido a los retrasos.

#### **c. Último en entrar, primero en salir (UEPS)**

UEPS es relativamente poco común, pero puede ser eficaz en contextos específicos, como la gestión de tareas en ciertos tipos de operaciones de fabricación o de tecnologías de la información. El costo de implantación de un sistema UEPS puede ser menor que el de las colas prioritarias porque requiere menos diferenciación entre tareas. Sin embargo, la posibilidad de que aumente el inventario de trabajo en curso a medida que las tareas anteriores esperan más tiempo para completarse podría aumentar los costos de mantenimiento, contrarrestando los beneficios de la reducción de los tiempos de preparación.

#### **d. Gestión dinámica de colas**

Los sistemas de gestión dinámica de colas, que se adaptan a las condiciones en tiempo real, representan una inversión inicial más elevada tanto en tecnología como en capacidades analíticas. Sin embargo, estos sistemas pueden optimizar el uso de los recursos y minimizar los tiempos muertos, lo que reduce los costos operativos a largo plazo. Los entornos minoristas se benefician significativamente de estos sistemas durante las horas pico, ya que la asignación dinámica de los cajeros a las cajas activas reduce los tiempos de espera de los clientes y mejora la utilización de la mano de obra.

#### **e. Análisis económico y puntos de equilibrio**

Es esencial realizar un análisis económico exhaustivo que incluya el cálculo de los umbrales de rentabilidad de cada modelo de colas. Este análisis debe tener en

cuenta no sólo los costos directos asociados a la implantación y mantenimiento de cada sistema, sino también los costos indirectos, como la insatisfacción del cliente y la posible pérdida de negocio debido a los largos tiempos de espera. Por ejemplo, un proveedor de servicios de gama alta puede descubrir que el mayor costo de un sistema de colas prioritarias se ve compensado por los mayores índices de retención y satisfacción del cliente, que se traducen en un mayor valor de por vida del cliente.

Cada modelo de prioridad ofrece ventajas y retos distintos desde el punto de vista de los costos, y la elección del modelo a implantar debe alinearse con los objetivos operativos específicos de la organización y las estrategias de servicio al cliente. Analizando cuidadosamente los costos operativos asociados a cada modelo, las empresas pueden tomar decisiones informadas que equilibren la eficiencia, la satisfacción del cliente y el rendimiento financiero.

## **2.2. Modelos de simulación y su aplicación en el análisis de colas**

Los modelos de simulación son herramientas inestimables para el análisis y la optimización de los sistemas de colas, ya que ofrecen un marco sólido para comprender las complejas interacciones que se producen en las colas y predecir los resultados de diversas estrategias de gestión de colas sin necesidad de experimentar en entornos reales (Sadeghi, 2015). Estos modelos son especialmente útiles en sectores como la fabricación, los servicios, el transporte y la sanidad, donde las colas pueden afectar significativamente a la eficiencia operativa y a la satisfacción del cliente.

Las **simulaciones de Montecarlo** se utilizan para modelizar la probabilidad de distintos resultados en un proceso que no puede predecirse fácilmente debido a la intervención de variables aleatorias. Este método es especialmente útil en la teoría de colas para analizar sistemas en los que se conocen los datos históricos o las distribuciones de probabilidad de las variables de entrada (como los tiempos de llegada y de servicio), pero estas entradas están sujetas a una variabilidad estocástica. Pueden emplearse para estimar medidas de rendimiento como los tiempos de espera medios, la longitud de las colas y la utilización del sistema. (Rubinstein, 2016).

La **simulación de eventos discretos (DES)** consiste en modelar un sistema como una secuencia de eventos discretos que se producen en determinados momentos. Esta técnica se utiliza ampliamente en problemas de colas más complejos, en los que las interacciones entre eventos son significativas y el estado del sistema cambia sólo en un conjunto discreto de puntos en el tiempo, es especialmente eficaz en sistemas dinámicos, ayudar a determinar la asignación de recursos, comprender los

cuellos de botella y predecir el impacto de los cambios propuestos en el proceso de colas sin interrumpir las operaciones en curso (Banks, 2010).

**La simulación difusa de eventos discretos (FDES)** amplía las capacidades del DES incorporando la lógica difusa para manejar sistemas con importantes incertidumbres e imprecisiones en los datos de entrada. FDES es especialmente útil en escenarios en los que los parámetros implicados no son sólo aleatorios, sino vagos o ambiguos, a menudo descritos lingüísticamente por operadores humanos, permite a los gestores de proyectos modelizar incertidumbres como variables difusas, proporcionando una gama de posibles resultados y sus probabilidades, lo que ayuda a tomar decisiones más informadas sobre la programación y la asignación de recursos (Dubois, 1998).

**Las simulaciones basadas en agentes (ABS).** Se centran en agentes individuales y sus interacciones dentro de un sistema. Cada agente actúa de acuerdo con unas reglas establecidas, y el comportamiento del sistema a nivel macro surge de estas interacciones a nivel micro. Este tipo de simulación es especialmente útil para comprender sistemas adaptativos complejos como los ecosistemas, las economías de mercado o las redes sociales (Macal, 2010).

**La dinámica de sistemas (SD)** es una metodología para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos complejos, especialmente los que implican bucles de realimentación y retardos temporales. Estos modelos utilizan diagramas de acciones y flujos y ecuaciones diferenciales para representar las interacciones y los bucles de realimentación dentro de un sistema (Sterman, 2010).

**Las simulaciones híbridas** combinan elementos de múltiples metodologías de simulación para aprovechar los puntos fuertes de cada una. Este enfoque suele utilizarse cuando un único tipo de modelo no puede representar adecuadamente la complejidad del sistema (Giambiasi, 2010).

**Las simulaciones estocásticas** incorporan la aleatoriedad y se utilizan para modelar sistemas que se comportan de forma impredecible. Este método se utiliza a menudo en escenarios en los que es crucial comprender todos los resultados posibles y sus probabilidades (G. Fishman, 2013).

### **III. Análisis exhaustivo de los efectos de las políticas de prioridad**

La aplicación de políticas de prioridad en los sistemas de colas es una decisión estratégica crucial que puede repercutir significativamente tanto en la eficacia operativa como en la satisfacción del cliente. Analizando los efectos de estas

políticas en relación con diversos atributos como la asignación de personal, la racionalización de procesos, la integración tecnológica, la interacción con el cliente y la mejora continua, las organizaciones pueden obtener una visión holística de su dinámica operativa. Este análisis exhaustivo ayuda a afinar las políticas prioritarias para lograr resultados óptimos en todas las facetas de la prestación de servicios.

#### **a. Asignación equilibrada de recursos**

Las políticas de prioridad a menudo requieren una reevaluación de la asignación de recursos para garantizar que los servicios prioritarios no afecten negativamente a los segmentos no prioritarios de la base de clientes. Una aplicación eficaz requiere un delicado equilibrio que garantice que, mientras los clientes prioritarios reciben el servicio rápido que esperan, los clientes no prioritarios no sufren una degradación sustancial de los niveles de servicio.

En el sector salud, por ejemplo, aunque se dé prioridad a los casos de emergencia, es crucial gestionar los recursos de forma que la atención rutinaria a los pacientes siga siendo eficiente. Las simulaciones pueden ayudar a prever el impacto de la priorización en las necesidades de recursos, lo que permite a los hospitales ajustar la dotación de personal y la asignación de equipos de forma proactiva.

#### **b. Mejorar la eficiencia de los procesos**

Las políticas de prioridad deben integrarse en el contexto más amplio de la eficiencia de los procesos. Esto implica no sólo dar prioridad a determinados clientes, sino también asegurarse de que todo el flujo del proceso está optimizado para reducir los cuellos de botella que podrían socavar la eficacia del sistema de prioridad.

En logística y envíos, la gestión prioritaria de las entregas urgentes debe complementarse con procesos eficientes de clasificación y envío para garantizar que todos los paquetes se mueven sin problemas a través del sistema. Las mejoras en los procesos pueden incluir la adopción de tecnologías de clasificación automatizadas o el rediseño del flujo de trabajo para alinearlos con los requisitos de gestión prioritaria.

#### **c. Tecnología de apoyo a los sistemas prioritarios**

Las soluciones tecnológicas pueden ser especialmente eficaces para apoyar las políticas de prioridad proporcionando las herramientas necesarias para gestionar y supervisar las colas prioritarias. Los sistemas avanzados pueden ayudar a ajustar

dinámicamente la gestión de colas basándose en datos en tiempo real, mejorando así la adaptabilidad de los sistemas prioritarios.

Los aeropuertos utilizan sistemas de gestión de datos en tiempo real para dar prioridad a los pasajeros con vuelos de conexión ajustados. La tecnología de la información ayuda a seguir el estado de los vuelos, la ubicación de los pasajeros y las variables operativas para agilizar el proceso de gestión de prioridades.

#### **d. Mecanismos de retroalimentación y compromiso de los clientes**

Establecer mecanismos sólidos de retroalimentación es esencial para comprender cómo afectan las políticas prioritarias a la percepción y satisfacción de los clientes. Colaborar con los clientes para recabar sus experiencias puede aportar información valiosa que permita mejorar las políticas.

Las industrias de servicios, como las telecomunicaciones, pueden implementar servicios prioritarios para la asistencia técnica, pero necesitan recopilar continuamente las opiniones de los clientes para asegurarse de que este privilegio mejora la satisfacción y no conduce a percepciones de injusticia entre otros clientes.

#### **e. Mejora y adaptación iterativas**

La naturaleza dinámica de las políticas prioritarias exige una evaluación y adaptación continuas. Las organizaciones deben mantenerse ágiles, utilizando los datos de las operaciones en curso y las simulaciones para perfeccionar sus estrategias y abordar los nuevos retos o las expectativas cambiantes de los clientes.

Las Mipymes, especialmente durante periodos de gran demanda como las vacaciones, pueden beneficiarse de ajustar iterativamente sus políticas de prioridad, como el envío acelerado para clientes de alto valor, basándose en las tendencias de compra y en los comentarios de los clientes recogidos a través de sistemas de punto de venta y plataformas en línea.

La evidencia empírica, permite verificar la efectividad de las disciplinas de colas en sistemas de servicio y cómo estas impactan tanto en la eficiencia operativa como en la satisfacción del cliente. A través de estudios aplicados en sectores como la sanidad, el transporte y la banca, se ha demostrado que la implementación de modelos de colas con prioridades puede reducir significativamente los tiempos de espera y mejorar la percepción de calidad del servicio.

La investigación empírica en este ámbito sugiere que adaptar los modelos de colas a las necesidades específicas de cada entorno, como en los hospitales (donde la

urgencia es fundamental) o en los bancos (donde se priorizan ciertos servicios), puede llevar a una optimización considerable. Los resultados de simulaciones de eventos discretos muestran que los sistemas de colas priorizados no solo incrementan la eficiencia, sino que, bien diseñados, también promueven una percepción de justicia en los clientes, siempre y cuando se implementen de forma transparente y coherente.

## VI. Conclusiones

El objetivo del estudio es revisar teórica y empíricamente las diferentes disciplinas de colas prioritarias y evaluar cómo estas afectan los tiempos de espera y la satisfacción del cliente en sistemas de servicio. La hipótesis plantea que las políticas de prioridad bien implementadas pueden reducir los tiempos de espera y mejorar la percepción de la calidad del servicio.

Según los resultados del estudio, los hallazgos respaldan tanto el objetivo como la hipótesis propuesta. La evidencia empírica demuestra que, en diversos sectores, la implementación de modelos de colas prioritarias ha tenido un impacto positivo al reducir tiempos de espera y mejorar los niveles de satisfacción del cliente. Por ejemplo, en los sistemas de atención médica y en aeropuertos, los usuarios que reciben un trato prioritario experimentan tiempos de espera significativamente menores y reportan niveles de satisfacción superiores. Además, los resultados subrayan cómo, al adaptarse a la urgencia y al tipo de servicio, las políticas de prioridad contribuyen a un uso más eficiente de los recursos.

El estudio también indica que la satisfacción del cliente no solo depende de una espera corta, sino de la percepción de equidad y transparencia en el sistema de priorización, lo que refuerza el enfoque integral de la hipótesis en cuanto a la eficiencia operativa y satisfacción. Con esto, el estudio cumple con los objetivos planteados y valida la hipótesis, evidenciando que las políticas de colas prioritarias mejoran tanto la eficiencia del sistema como la experiencia del cliente cuando se implementan adecuadamente.

Este estudio ha explorado la aplicación de modelos de colas prioritarias y técnicas de simulación de eventos discretos para mejorar la eficiencia operativa en sistemas de servicios. Los resultados revelan que la incorporación de mecanismos basados en la prioridad puede reducir significativamente los tiempos de espera y mejorar la calidad general del servicio, especialmente en entornos de alta demanda. El uso de la simulación ha permitido un examen detallado de varios escenarios, ilustrando

cómo las diferentes reglas de prioridad afectan tanto a la eficiencia del servicio como a la satisfacción del cliente.

El analizar los efectos de las políticas prioritarias en su conjunto implica considerar cómo interactúan estas estrategias con cada parte del proceso operativo y atención al cliente. Al integrar las políticas prioritarias en el marco operativo general y perfeccionar continuamente estas estrategias basándose en datos empíricos y en las opiniones de los clientes, las organizaciones pueden mejorar la eficiencia general, lograr una mayor satisfacción de los clientes y mantener una ventaja competitiva en el mercado.

Una de las implicaciones prácticas de esta investigación es que los actores del servicio pueden adaptar las estrategias de gestión de colas a las necesidades operativas específicas, optimizando así la asignación de recursos y mejorando la experiencia del cliente. Por ejemplo, la adopción de sistemas de prioridad dinámicos, en los que las prioridades se ajustan en tiempo real en función del tráfico y las condiciones del servicio, que pueden conducir a entornos de servicio más ágiles y con mayor capacidad de respuesta.

Sin embargo, aunque las ventajas de las colas prioritarias son evidentes, el estudio también pone de relieve los retos que plantea la implantación eficaz de estos sistemas. Entre ellos, la necesidad de una infraestructura informática sofisticada para soportar la priorización dinámica y la posible resistencia de los clientes, que podrían percibir los sistemas de prioridad como injustos.

De cara al futuro, es necesario seguir investigando para explorar la integración de la inteligencia artificial y las técnicas de aprendizaje automático con los modelos de prioridad en las colas. Esta integración podría predecir la demanda de servicios con mayor precisión y automatizar los ajustes de prioridad, mejorando así la escalabilidad y eficacia de los sistemas de gestión de colas. Además, la investigación de las percepciones de los clientes sobre la equidad y la satisfacción en diferentes escenarios de colas prioritarias podría proporcionar una visión más profunda de cómo estos sistemas afectan a la lealtad de los clientes y a la reputación de la marca.

Como conclusión, la investigación confirma que las colas prioritarias y la simulación de eventos discretos son herramientas valiosas para mejorar las operaciones de servicio. Sin embargo, su aplicación debe abordarse teniendo muy en cuenta tanto las capacidades tecnológicas como la opinión de los clientes para aprovechar plenamente sus ventajas.

## VII. Referencias

- Adeniran, D. A., Burodo, M. S., & Suleiman, S. (2022). Application of queuing theory and management of waiting time using multiple server model: empirical evidence from Ahmadu Bello University Teaching Hospital, Zaria, Kaduna State, Nigeria. *International Journal of Scientific and Management Research*, 5(4), 159-174.
- Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Abdulkareem, A., Emetere, M. E., & Adejumo, O. (2021). A short review on queuing theory as a deterministic tool in sustainable telecommunication system. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2884-2888.
- Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Abdulkareem, A., Emetere, M. E., & Adejumo, O. (2021). A short review on queuing theory as a deterministic tool in sustainable telecommunication system. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2884-2888.
- Ayodeji, Y., Rjoub, H., & Özgüt, H. (2023). Achieving sustainable customer loyalty in airports: The role of waiting time satisfaction and self-service technologies. *Technology in Society*, 72, 102106.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall.
- Bell, S., Benatti, F., Edwards, N. R., Laney, R., Morse, D. R., Piccolo, L., & Zanetti, O. (2018). Smart cities and M 3: Rapid research, meaningful metrics and co-design. *Systemic Practice and Action Research*, 31, 27-53.
- Cui, S., Wang, Z., & Yang, L. (2023). A brief review of research on priority queues with self-interested customers. *Innovative Priority Mechanisms in Service Operations: Theory and Applications*, 1-8.
- Dalmia, R., Sinha, A., Verma, R., & Gupta, P. K. (2022). Dynamic Ready Queue Based Process Priority Scheduling Algorithm. *arXiv preprint arXiv:2205.07314*.
- Déry, J., Ruiz, A., Routhier, F., Bélanger, V., Côté, A., Ait-Kadi, D., ... & Lamontagne, M. E. (2020). A systematic review of patient prioritization tools in non-emergency healthcare services. *Systematic reviews*, 9, 1-14.
- Dubois, D., & Prade, H. (1998). Possibility Theory in the Context of Fuzzy Logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 100, 259-276.
- G. Fishman (2013). *Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis*. Springer Science & Business Media.
- Ghaleb, A., Heshmat, M., El-Sharief, M. A., & El-Sebaie, M. G. (2019, April). Using fuzzy logic and discrete event simulation to enhance production lines performance: case study. In *2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 653-657). IEEE.
- Ghaleb, A., Heshmat, M., El-Sharief, M. A., & El-Sebaie, M. G. (2019, April). Using fuzzy logic and discrete event simulation to enhance production lines performance: case study. In *2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 653-657). IEEE.

- Giambiasi, N., Escude, B., & Ghosh, S. (2000). Hybrid simulation models of discrete continuous systems. *Simulation*, 74(4), 191-201.
- Gross, D., Shortle, J. F., Thompson, J. M., & Harris, C. M. (2008). *Fundamentals of Queuing Theory*. John Wiley & Sons.
- Halpern, N., & Mwesumo, D. (2021). Airport service quality and passenger satisfaction: The impact of service failure on the likelihood of promoting an airport online. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100667.
- Hassan, N. A., Abdallah, N. M. S., & Attwa, R. A. (2024). Optimizing multi-skill call center staffing using queuing models: A study of service level. *Journal of Applied Research and Technology*, 22(2), 230-242.
- Jafarnejad Ghomi, E., Rahmani, A. M., & Qader, N. N. (2019). Applying queue theory for modeling of cloud computing: A systematic review. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 31(17), e5186.
- Kataria, S., & Saini, V. (2020). The mediating impact of customer satisfaction in relation of brand equity and brand loyalty: An empirical synthesis and re-examination. *South Asian Journal of Business Studies*, 9(1), 62-87.
- Le, T. N., Nguyen, H. M. V., Nguyen, T. A., Phung, T. T., & Phan, B. D. (2022). Optimization of load ranking and load shedding in a power system using the improved AHP algorithm. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 12(3), 8512-8519.
- Li, J., & Li, Q. (2023). Analysis of queue management in theme parks introducing the fast pass system. *Heliyon*, 9(7).
- Liu, P., Jiang, T., & Chai, X. (2020). Performance analysis of queuing systems with a particular service interruption discipline. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2020, 1-12.
- Lu, Y., Musalem, A., Olivares, M., & Schilkrut, A. (2013). Measuring the effect of queues on customer purchases. *Management Science*, 59(8), 1743-1763.
- Ma, W. M., Zhang, H., & Wang, N. L. (2019). Improving outpatient satisfaction by extending expected waiting time. *BMC Health Services Research*, 19, 1-7.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modeling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151-162.
- Nosek Jr, R. A., & Wilson, J. P. (2001). Queuing theory and customer satisfaction: a Review of terminology, trends, and applications to pharmacy practice. *Hospital pharmacy*, 36(3), 275-279.
- Olayinka, W. (2024, enero 16). A comprehensive guide to queue management systems in banks. WaitWell Queue Management Software. <https://waitwell.ca/queue-management-systems-in-banks/>
- Raicu, S., Costoscu, D., & Popa, M. (2023). Effects of the Queue Discipline on System Performance. *AppliedMath*, 3(1), 37-48.
- Roy, D., Spiliotopoulou, E., & de Vries, J. (2022). Restaurant analytics: Emerging practice and research opportunities. *Production and Operations Management*, 31(10), 3687-3709.
- Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2016). *Simulation and the Monte Carlo Method*. John Wiley & Sons.

- Sadeghi, N., Fayek, A. R., & Seresht, N. G. (2015). Queue performance measures in construction simulation models containing subjective uncertainty. *Automation in Construction*, 60, 1-11.
- Serper, N., Elif, Ş. E. N., & ÇALIŞ, B. (2022). Discrete event simulation model performed with data analytics for a call center optimization. *Istanbul Business Research*, 51(1), 189-208.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw Hill.
- Tan, K. W., Lau, H. C., & Lee, F. C. Y. (2013, December). Improving patient length-of-stay in emergency department through dynamic queue management. In *2013 Winter Simulations Conference (WSC)* (pp. 2362-2373). IEEE.
- Tian, Y., Zhao, M., Liu, M., Liao, Y., Huang, C., & Hu, M. (2022). Hybrid modeling methodology for integrating customers' behaviors into system simulation to improve service operations management. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 115, 102445.
- Ritha, W., & Robert, L. (2010). Fuzzy queues with priority discipline. *Applied Mathematical Sciences*, 4(12), 575-582.
- Ferrand, Y. B., Magazine, M. J., Rao, U. S., & Glass, T. F. (2018). Managing responsiveness in the emergency department: Comparing dynamic priority queue with fast track. *Journal of Operations Management*, 58, 15-26.
- Khot, A. S., & Mishra, R. K. (2017). *Learning Functional Data Structures and Algorithms*. Packt Publishing Ltd.
- Gioia, D. G., & Minner, S. (2023). On the value of multi-echelon inventory management strategies for perishable items with on-/off-line channels. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 180, 103354.
- Cueto, L. J., Frisnedi, A. F. D., Collera, R. B., Batac, K. I. T., & Agaton, C. B. (2022). Digital innovations in MSMEs during economic disruptions: experiences and challenges of young entrepreneurs. *Administrative Sciences*, 12(1), 8.