

Sistema tecnológico para gestión de combustible en escasez: Mérida, Venezuela

Technological system for fuel management in scarcity: Mérida, Venezuela

José Ramírez  ¹

Douglas Rivas  ²

Jehyson Guzmán  ³

Centro de Investigaciones de Astronomía Francisco J. Duarte, Mérida, Venezuela¹

Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela²

Gobernación del Estado Bolivariano de Mérida, Venezuela³

hr@hermanramirez.info¹

douglas.rivas@gmail.com²

jehyson.guzman@gmail.com³

Fecha de recepción: 13/07/2025

Fecha de aceptación: 19/10/2025

Pág: 180 – 195

DOI: [10.5281/zenodo.17467739](https://doi.org/10.5281/zenodo.17467739)

Resumen

Este estudio examinó la severa y constante escasez de gasolina en Venezuela, con especial énfasis en su impacto significativo en el estado Mérida, donde las prolongadas colas, los desafíos económicos y la generación de un mercado informal se generalizaron en el estado. Los métodos tradicionales de distribución demostraron ser ineficaces, caracterizándose por la desorganización y la complejidad. Para abordar esta problemática, se diseñó, implementó y presentaron los resultados de un sistema tecnológico integral. Se utilizó un enfoque ágil, específicamente Scrum, combinando el análisis cuantitativo de datos operativos y la Teoría de Colas para comprender y optimizar el proceso de abastecimiento. El sistema buscó transformar la gestión del combustible de un modelo reactivo a uno proactivo. El núcleo de la solución radicó en la identificación vehicular única mediante códigos QR y la implementación de ciclos de distribución programados. Los hallazgos demostraron una reducción significativa en los tiempos de espera en las estaciones de servicio, una distribución más equitativa del combustible entre los usuarios y una optimización de los inventarios dadas las limitaciones operativas existentes.



Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0.

La validación empírica, al comparar ciclos de 4 y 5 días, subrayó que, si bien la tecnología gestiona eficientemente la distribución bajo restricciones de oferta, una solución definitiva a la escasez necesitó realizar acciones para abordar los factores que limitaban la disponibilidad de combustible. Este estudio destaca cómo los sistemas de control de acceso basados en tecnología pudieron ayudar a manejar mejor las crisis y asegurar que los recursos más importantes lleguen a quienes los necesitan.

Palabras clave: acceso equitativo, códigos QR, distribución de combustible, gestión de escasez, logística de inventario.

Abstract

This study examined the severe and constant gasoline shortage in Venezuela, with a special emphasis on its significant impact on Mérida state, where prolonged queues, economic challenges, and the emergence of an informal market became widespread. Traditional distribution methods proved ineffective, characterized by disorganization and complexity. To address this issue, a comprehensive technological system was designed, implemented, and its results presented. An agile approach, specifically Scrum, was utilized, combining quantitative analysis of operational data and Queueing Theory to understand and optimize the supply process. The system aimed to transform fuel management from a reactive to a proactive model. The core of the solution lay in unique vehicle identification using QR codes and the implementation of scheduled distribution cycles. Key findings demonstrated a significant reduction in waiting times at service stations, a more equitable distribution of fuel among users, and an optimization of inventories given existing operational limitations. Empirical validation, by comparing 4- and 5-day cycles, highlighted that while technology efficiently manages distribution under supply constraints, a definitive solution to the shortage requires actions to address factors limiting fuel availability. This study underscores how technology-based access control systems can help better manage crises and ensure critical resources reach those who need them.

Keywords: equitable access, QR codes, fuel distribution, scarcity management, inventory logistics.

Introducción

La crítica escasez de combustible en Venezuela, particularmente en el Estado Mérida, supuso un desafío considerable para la economía y el bienestar social. Entre 2018 y 2023, esta

situación se manifestó en largas filas, pérdidas significativas de productividad y el auge de mercados informales, exacerbando la ya compleja realidad (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2024). Los sistemas de distribución tradicionales resultaron ser notablemente ineficaces, caracterizados por una desorganización que generaba un caos constante en las estaciones de servicio y afectaba directamente la vida diaria de los ciudadanos.

Ante este panorama, la investigación propuso e implementó un sistema tecnológico integral. Este sistema tuvo como objetivo primordial transformar la gestión del combustible, pasando de un modelo puramente reactivo —que simplemente respondía a la demanda existente— a uno proactivo. La meta era anticipar y gestionar la escasez. Para ello, se buscó controlar de manera eficiente el acceso a las estaciones de servicio, utilizando un método de identificación vehicular única y estableciendo ciclos de distribución programados. Esto permitió mitigar las colas excesivas y la especulación que tanto daño causaban.

Metodológicamente, el estudio adoptó un enfoque híbrido. Combinó la agilidad del desarrollo Scrum con análisis cuantitativos rigurosos de datos operativos en tiempo real (Agile Scrum Chile, 2023). Además, se integró la Teoría de Colas (TECO), una herramienta fundamental para comprender y optimizar la dinámica del proceso de abastecimiento. Los resultados obtenidos fueron contundentes: se demostró la viabilidad y eficacia de la solución implementada. Hubo una notable reducción en los tiempos de espera, se promovió una distribución más equitativa del combustible entre los usuarios y se optimizó la logística de suministro, todo ello dentro de las limitaciones operativas existentes.

Contexto del estudio

La escasez de combustible se ha convertido en una de las problemáticas más apremiantes en diversas regiones de Venezuela, afectando profundamente el día a día de sus ciudadanos (Alcívar et al., 2022; Christian et al., 2020; Voz de América, 2021). Particularmente en el Estado Mérida, entre 2018 y 2023, esta situación escaló a una crisis humanitaria y socioeconómica, caracterizada por la paralización de actividades esenciales, la inoperatividad del transporte público y privado, y la proliferación de un mercado negro que exacerbaba la desigualdad y la frustración social. “La dependencia casi total del parque automotor venezolano de la gasolina y el gasoil convirtió la disponibilidad de este recurso en un factor crítico para la operatividad del estado y la subsistencia de sus habitantes” (Venezuela Blog, 2021).

En este contexto de profunda vulnerabilidad, se hizo evidente la ineficacia de los sistemas de distribución tradicionales, que operaban bajo modelos de “primero en llegar, primero en ser atendido”, los cuales colapsaron ante la demanda masiva y la oferta limitada. Esta situación resaltó la imperiosa necesidad de soluciones innovadoras que no solo gestionaran la escasez, sino que también restauraran el orden, la equidad y la predictibilidad en el acceso al combustible.

Fundamentación teórica

Con el objetivo de manejar el complejo problema planteado, el actual estudio recurre a la Teoría de Colas (TECO), un área esencial dentro de la investigación de operaciones. Según Gross y Harris (1998), esta disciplina ofrece los medios para el modelado, el análisis y la optimización de sistemas en los que individuos o entidades buscan ser atendidos por uno o múltiples servidores. En el caso de la gestión de combustible, las estaciones de servicio se conceptualizan como “servidores” y los vehículos como “clientes” que demandan atención. La aplicación de modelos TECO, específicamente M/M/1 para una única pista de servicio y M/M/c para múltiples pistas o surtidores, permitió cuantificar métricas críticas como el tiempo de espera promedio, la longitud de la cola y la utilización de los servidores, ofreciendo una base matemática para la toma de decisiones sobre la capacidad y los ciclos de atención óptimos (Hillier y Lieberman, 2005).

Además, las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) se convirtieron en una pieza fundamental de la solución de la propuesta. Las TICs, entendidas como herramientas que facilitan la adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información, fueron importantes para la creación de un sistema robusto de control y monitoreo (Castells, 2000). La adopción de códigos QR (*Quick Response*) se seleccionó por su eficiencia en la identificación rápida y segura, permitiendo el registro y autenticación de vehículos y usuarios de forma instantánea, un factor clave para regular el acceso y combatir el fraude.

El sistema se implementó siguiendo la metodología ágil Scrum. Esta forma de trabajo, con sus ciclos iterativos y adaptativos (conocidos como *sprints*), nos permitió ajustarnos constantemente a la situación cambiante de la crisis y aprovechar lo aprendido en cada fase piloto (Schwaber y Sutherland, 2017). Esta flexibilidad fue importante en un entorno tan dinámico y permitió la retroalimentación constante con los usuarios y las autoridades.

Se culminó el estudio con una visión inspirada en los principios de ayuda humanitaria del Comité Internacional de la Cruz Roja ICRC (1993). Esto significó que, al repartir el combustible, la humanidad, la imparcialidad y la neutralidad fueron la brújula. Así que, se enfocó que el combustible disponible fuera primero para los vehículos de servicios esenciales (como los de salud, seguridad y transporte público), garantizando que lo poco que había llegara a quienes más lo requerían para mantener la ciudad en movimiento. La combinación de la TECO, las TICs y el trabajo ágil, bajo este enfoque humanitario, hace que esta investigación tenga carácter muy específicos. Nos permite manejar la escasez con una mirada integral y tecnológica.

Método

Diseño y desarrollo del sistema

El sistema de gestión de combustible se construyó sobre una arquitectura de microservicios en la nube de Amazon Web Services (AWS) (Amazon Web Services, 2023), asegurando alta disponibilidad y escalabilidad. Utiliza instancias de Amazon EC2 (Linux Ubuntu) para los servidores de aplicación (backend Django/Python) y Amazon RDS con PostgreSQL como base de datos relacional administrada. La interfaz frontend web se desarrolló con Bootstrap, y una aplicación móvil en Flutter interactúa con el backend, empleando *Firebase Realtime Database* para la sincronización en tiempo real en las estaciones de servicio.

Los requisitos funcionales incluyeron el registro de usuarios y vehículos, gestión de perfiles y estaciones, monitoreo de cargas, estadísticas, escaneo/validación de códigos QR, y parametrización de ciclos de distribución. En cuanto a los requisitos no funcionales, se priorizaron la alta disponibilidad, escalabilidad, seguridad de la información, usabilidad y rendimiento. El diseño modular distribuyó funcionalidades entre una plataforma web (administración, estadísticas, registro, gestión de priorizados) y una aplicación móvil para operaciones en campo (reporte de estado, escaneo QR, registro de transacciones).

Recopilación y análisis de datos

La recopilación de datos se realizó de forma continua y automatizada a través del propio sistema, registrando cada despacho de combustible. Los datos incluyeron: fecha y hora, identificación del vehículo (QR), tipo y volumen de combustible, estación de servicio y tiempo de permanencia. El análisis de datos abarcó estadística descriptiva (demanda, volumen, tiempos de espera), análisis comparativo (impacto de los cambios en los ciclos de distribución de 4 vs. 5 días) y análisis de cuellos de botella. La combinación de la Teoría de Colas (Gross y Harris, 1998; Hillier y Lieberman, 2005; Kendall, 1953; Medhi, 2002), la simulación basada en agentes (Alcívar et al., 2022; Burbano et al., 2024; Canyakmaz y Boyaci, 2023) y el análisis de datos reales permitió una comprensión profunda y la optimización de la operación del sistema en un contexto de escasez.

Implementación y pruebas iterativas del sistema de combustible

La implementación del sistema en el estado Mérida fue un proceso iterativo y fásico, siguiendo los principios de la metodología ágil Scrum (Schwaber y Sutherland, 2017), con cada fase como un ciclo de prueba, aprendizaje y mejora continua.

- Fase 1: Piloto y ajustes iniciales. Se probó un sistema de registro elemental con asignación por último dígito de placa y estaciones exclusivas para motorizados/turistas. Se descubrió que el sorteo exacerbaba la congestión pre-apertura, lo que llevó a eliminarlo.

- Fase 2: Optimización del flujo. Se eliminó el sorteo, permitiendo a los usuarios surtir en cualquier estación habilitada según elegibilidad. Esta iteración mejoró significativamente la dispersión del flujo vehicular.
- Fase 3: Integración total. El sistema se expandió para incluir turistas y motorizados en todas las estaciones, y se probó la gestión de gasoil mediante QR. La integración fue fluida, confirmando la robustez de la plataforma para diversos usuarios y productos.
- Fase 4: Integración de vehículos priorizados. Se realizó un piloto para gestionar excepciones y prioridades (salud, seguridad, etc.) de manera controlada y justa, evaluando la eficiencia y equidad de su atención. Los hallazgos guiaron la automatización para este segmento.
- Fase 5: Optimización continua y cierre del ciclo de abastecimiento. Se centró en la mejora continua y estabilización del sistema, abordando los ciclos completos de despacho y reabastecimiento. Se buscó la resiliencia del sistema ante variaciones en el suministro y la demanda, logrando operar de forma sostenible y eliminando las colas.

Cada fase se basó en la recopilación y análisis de datos, lo que permitió que el sistema evolucionara y se adaptara continuamente a las complejidades de la escasez de combustible en el Estado Mérida, con algoritmos que aprenden según cómo se alimenta, garantizando que cada ajuste se basara en pruebas empíricas.

Estrategias de control y parámetros operativos

El éxito del sistema radicó en la implementación de estrategias de control robustas y dinámicas, sustentadas por parámetros operativos claramente definidos y un algoritmo adaptable que aprendía continuamente de los datos operativos en tiempo real.

1. Disciplina de cola y control de acceso

Se estableció una disciplina de cola estricta mediante el uso del código QR (Vegas et al., 2023) como único pase de acceso, lo cual fue fundamental para eliminar las colas físicas y la discrecionalidad en el despacho (El Diario, 2020). Este sistema operaba bajo los siguientes principios:

- Identificación única: Cada vehículo registrado recibía un código QR intransferible que lo identificaba de manera única en el sistema, funcionando como su “carnet de despacho”.
- Asignación de turnos programada: En lugar de la formación espontánea de colas, el sistema asignaba un turno específico (día y franja horaria) a cada vehículo. Esta asignación se basaba en el ciclo de distribución establecido y la capacidad disponible de las estaciones.

- Verificación en tiempo real: Al llegar a la estación, el código QR del vehículo era escaneado y verificado instantáneamente en línea con la base de datos central. Esta verificación confirmaba la validez del turno y que el vehículo no había excedido su límite de despacho dentro del ciclo.
- Priorización automatizada: Para vehículos considerados esenciales (salud, seguridad, transporte público, etc.), el algoritmo asignaba automáticamente cupos preferenciales. Estos podían ser atendidos en una “vía rápida” o en estaciones designadas, minimizando el impacto en el flujo general de otros usuarios. Esta priorización se basaba en la categorización del vehículo durante el registro y era validada estrictamente en el punto de despacho.

2. Parámetros operativos de la red

El diseño y la optimización del sistema se basaron en parámetros operativos que definieron su capacidad y eficiencia, ilustrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros de la Red de Estaciones Simulada

| Parámetro | Valor | Unidad |
|--|---------|---------------|
| Total de estaciones | 72 | Estaciones |
| Surtidores disponibles en la red | 216 | Surtidores |
| Litros diarios disponibles para la red | 532.000 | Litros |
| Capacidad de atención de la red | 12.000 | Vehículos/día |
| Litros promedio por vehículo | 44,33 | Litros |
| Ciclo ideal de suministro (sin colas) | 5 | Días |
| Umbral de ciclo (genera colas) | ≤ 4 | Días |

Fuente: Elaboración propia (2025).

Estos valores fueron fundamentales para ajustar el algoritmo de despacho y asegurar una distribución ordenada y equitativa del combustible. La simulación y la experiencia operativa demostraron que el ciclo ideal de suministro sin generar colas era de 5 días, mientras que un umbral de ciclo inferior o igual a 4 días solía generar congestión al superar la tasa de reabastecimiento y la capacidad operativa de las estaciones.

Resultados

La implementación del sistema tecnológico arrojó hallazgos cuantitativos y cualitativos significativos, demostrando un impacto palpable en la gestión de la distribución de combustible en el Estado Mérida. Para evaluar este impacto, se diseñaron consultas resumen directamente desde la base de datos maestra PostgreSQL del sistema, aprovechando la capacidad del ORM de

Django. Estas consultas cubrieron el periodo desde la implementación del sistema el 26 de junio de 2023 hasta el 30 de abril de 2025, permitiendo un análisis exhaustivo de su funcionamiento y efectos.

Hallazgos cuantitativos

El sistema gestionó una base de datos sustancial, reflejando su adopción y el volumen de operaciones:

- Usuarios registrados: Aproximadamente 250.000 usuarios activos.
- Vehículos registrados: Cerca de 350.000 vehículos únicos.
- Atenciones diarias promedio: 15.000 atenciones en periodos de operación estable.
- Litros surtidos (Mensual Promedio): 10.500.000 litros de gasolina y 1.200.000 litros de gasoil.

La Figura 1, ilustra la tendencia de crecimiento y estabilización de operaciones, mostró una rápida adopción inicial seguida de una meseta, indicando una gestión predecible del combustible disponible.



Figura 1: Total de litros surtidos y total de usuarios atendidos por mes.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 2, Total de litros surtidos por municipio para el periodo mayo 2023 hasta abril 2025, mostró una concentración geográfica significativa de la demanda de combustible. Los municipios Libertador y Alberto Adriani, representaron una porción sustancial del total de litros dispensados. Juntos, estos dos municipios sumaron más de 145 millones de litros, lo que representó aproximadamente el 60 % del total de 240,6 millones de litros distribuidos en el estado. Esta concentración probablemente reflejó la densidad de población, la actividad económica (agrícola y turística) y la ubicación de los principales centros de transporte. Esta observación fue fundamental para la asignación de recursos y la planificación logística, ya que identificó las áreas donde la carga operativa del sistema era más alta y donde la infraestructura de suministro era más crítica. Para los formuladores de políticas, esto destacó las áreas que requierieron una atención sostenida en términos de suministro de combustible.

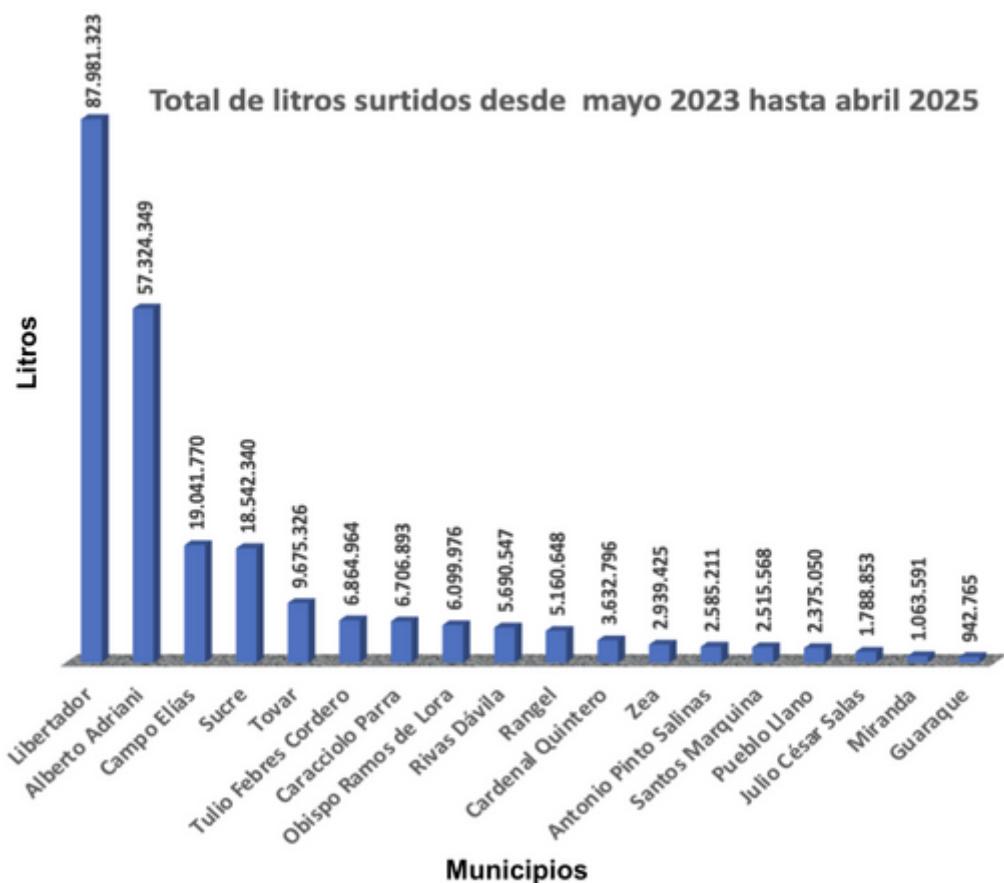


Figura 2: Total de litros surtidos por municipio para el periodo mayo 2023 hasta abril 2025.
Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 3, el total de litros surtidos por parroquia entre mayo 2023 y abril 2025 ofreció una comprensión más detallada de los patrones de demanda dentro de los municipios,

revelando que el consumo podría ser altamente localizado. Parroquias como Pte. Rómulo Gallegos, Mariano Picón Salas, Juan Rodríguez Suárez y Milla mostraron volúmenes muy altos de atenciones y litros. Este nivel de detalle fue significativo para decisiones logísticas a nivel micro, como la optimización de rutas de cisternas o la gestión de horarios de operación de estaciones, lo que demostró la capacidad del sistema para proporcionar información procesable para una gestión localizada de recursos escasos.

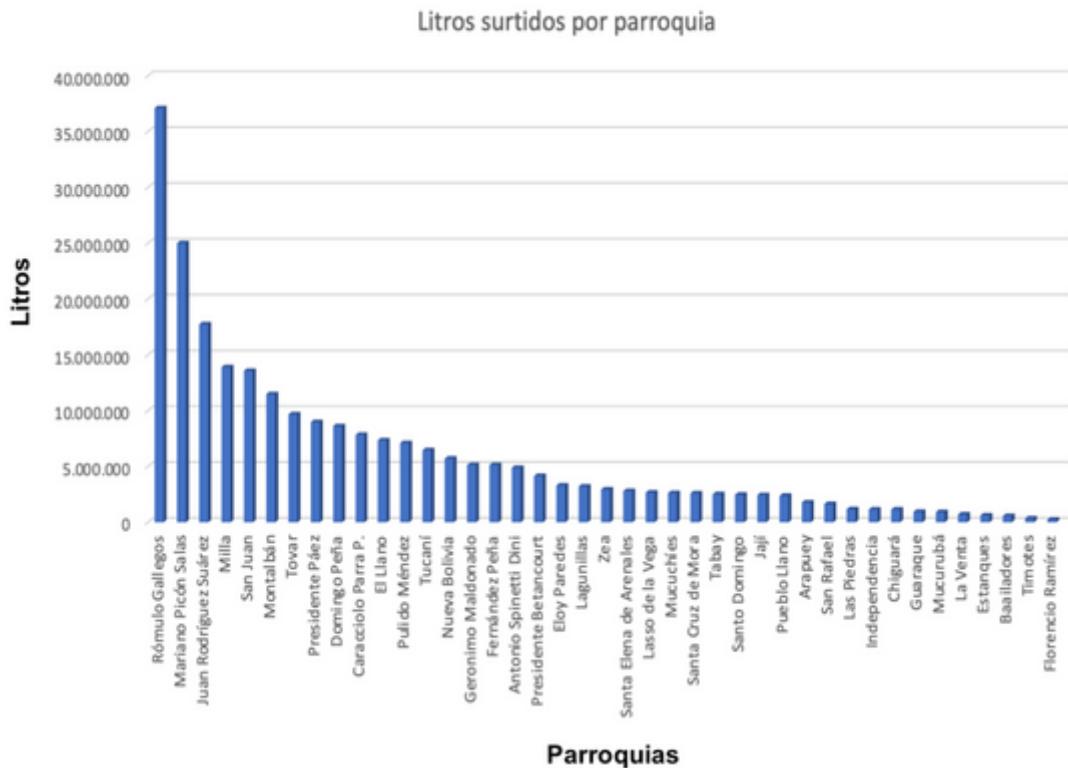


Figura 3: Total de litros surtidos por parroquia en el estado Mérida entre mayo 2023 y abril.
Fuente: Elaboración Propia (2025).

Para una referencia rápida de los principales municipios en términos de litros dispensados, se presenta la siguiente Tabla 2.

En la Figura 4, se reveló una variabilidad significativa en el rendimiento y los roles operativos. Algunas estaciones, como La Creole, LagoAmérica y Albalago, manejaron consistentemente volúmenes muy altos de atenciones y litros, mientras que otras, como Becerra o Caño Tigre, mostraron actividad esporádica o volúmenes muy bajos. Esta disparidad sugirió que las estaciones cumplían diferentes funciones dentro de la red de distribución: algunas actuaban como centros principales de despacho, mientras que se incorporan, a servir a áreas priorizadas o tener capacidades limitadas. Esta flexibilidad del sistema para integrar y gestionar una red

heterogénea de puntos de distribución fue un aspecto destacable de su diseño.

Tabla 2: Distribución de litros dispensados por principales municipios.

| Municipio | Atenciones | Litros |
|----------------------|------------|------------|
| Libertador | 2.752.470 | 87.981.323 |
| Alberto Adriani | 1.687.836 | 57.324.349 |
| Campo Elías | 619.379 | 19.041.770 |
| Sucre | 523.890 | 18.542.340 |
| Tovar | 259.577 | 9.675.326 |
| Tulio Febres Cordero | 205.792 | 6.864.964 |
| Caracciolo Parra | 239.665 | 6.706.893 |
| Obispo Ramos de Lora | 203.697 | 6.099.976 |
| Rivas Dávila | 127.264 | 5.690.547 |
| Rangel | 123.059 | 5.160.648 |

Fuente: Elaboración propia (2025).

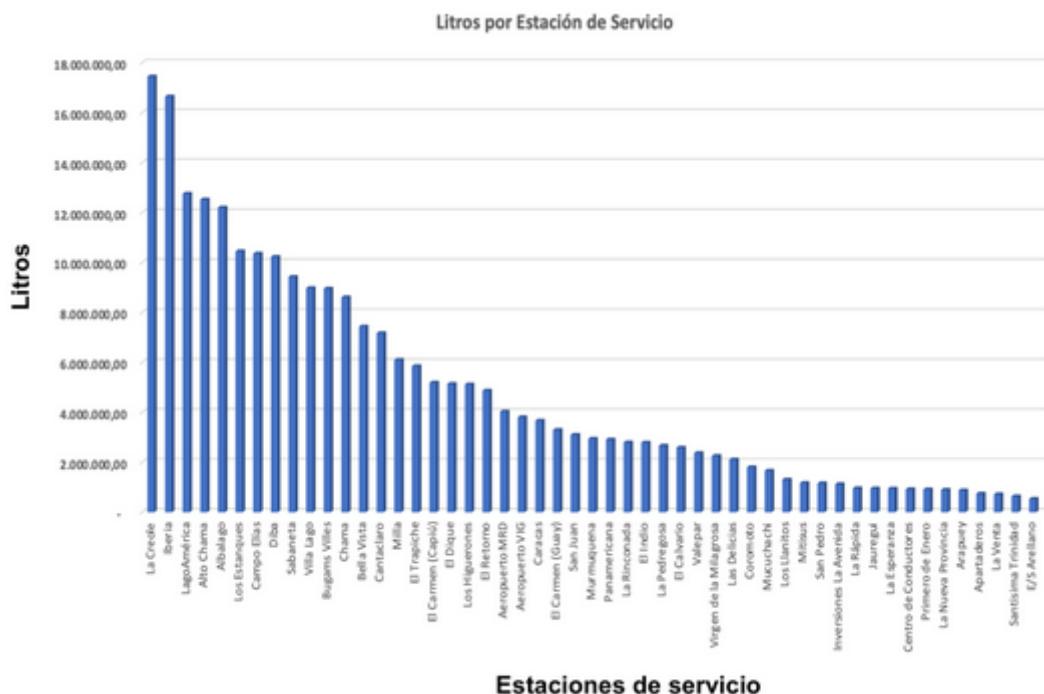


Figura 4: Total de litros surtidos por parroquia en el estado Mérida entre mayo 2023 y abril.
Fuente: Elaboración Propria (2025).

Para una comprensión más específica de la disparidad mencionada, los datos de las estaciones

con mayor volumen de litros dispensados, que sirvieron como centros principales de despacho durante el periodo de estudio, se detallan en la Tabla 3 a continuación:

Tabla 3: Detalle de estaciones con mayor volumen de litros dispensados

| Estación | Municipio | Totales | Atenciones | Primera Carga | Última Carga | Rol Operativo |
|-----------|-----------------|------------|------------|---------------|--------------|------------------|
| La Creole | Alberto Adriani | 16.878.594 | 359.802 | 29/05/23 | 30/04/25 | Centro Principal |
| Albalago | Libertador | 11.744.255 | 354.715 | 29/05/23 | 30/04/25 | Centro Principal |

Fuente: Elaboración propia (2025).

Hallazgos cualitativos

El estudio permitió alcanzar los siguientes hallazgos operativos:

- Eliminación de colas prolongadas: La implementación del ciclo de distribución de 5 días fue fundamental, eliminando las colas que antes duraban días y reduciendo drásticamente el tiempo de espera.
- Estabilización de la distribución: Se logró una percepción generalizada de mayor orden y previsibilidad en el acceso al combustible, reduciendo el estrés entre la población.
- Dependencia de la oferta: El contraste entre el éxito del ciclo de 5 días y la reaparición de colas al intentar reducirlo a 4 días proporcionó una validación empírica sustancial. Esto demostró que el sistema gestiona eficientemente la distribución, pero no resuelve la escasez *per se*. Un ciclo de 5 días coincidió con la tasa de reabastecimiento promedio de las estaciones en el Estado, permitiendo la eliminación de colas. Sin embargo, reducir el ciclo sin un aumento considerable en la oferta provocó que la demanda superara la capacidad de suministro, generando esperas y confirmando la dependencia del sistema a la disponibilidad real de combustible.

Discusión

Los resultados de esta investigación demuestran que el sistema tecnológico implementado en el Estado Mérida logró un cambio paradigmático en la gestión de la escasez de combustible. Lo que antes era un escenario de caos, incertidumbre y frustración, se transformó en un proceso ordenado, predecible y equitativo. La eliminación de las prolongadas e infructuosas colas en las estaciones de servicio es la evidencia más palpable de este éxito, un logro que impactó directamente en la calidad de vida de los ciudadanos y en la reactivación de actividades esenciales. Este sistema proporcionó una solución tangible a un problema crítico, devolviendo la eficiencia y la paz social a una comunidad.

Una contribución de este estudio es la clara diferenciación entre la gestión de la demanda y la solución de la escasez de suministro. Si bien el sistema se erigió como una herramienta excepcionalmente eficaz para administrar la distribución de un recurso limitado —gestionando la demanda de forma inteligente—, es fundamental reconocer que no generó combustible adicional ni resolvió las causas fundamentales de la escasez (por ejemplo, problemas de producción o logística a nivel nacional). La evidencia empírica de los ciclos de despacho lo ilustra: el ciclo de 5 días, al alinearse con la tasa de reabastecimiento real, fue exitoso en eliminar las colas, mientras que el intento de mantener un ciclo de 4 días (sin un incremento concomitante en la oferta) llevó a la reaparición de la congestión. Esto subraya que la tecnología, por poderosa que sea, actúa como un catalizador de la eficiencia en la gestión, pero la solución definitiva a la escasez requiere abordar factores macroeconómicos y logísticos fuera del alcance de este sistema.

La adaptabilidad del sistema, impulsada por un algoritmo que aprende y se ajusta continuamente a partir de los datos en tiempo real (como bien se ha señalado, “algoritmos que aprenden según cómo se alimenta”), fue un factor determinante en su resiliencia. Esta capacidad de auto-optimización le permitió responder proactivamente a las fluctuaciones de la oferta y la demanda, ajustando la asignación de turnos y las recomendaciones de capacidad. La transparencia y la reducción del mercado negro son beneficios colaterales de inmensa importancia. Al formalizar y digitalizar el proceso de despacho, se minimizó la oportunidad para la especulación y el acaparamiento, redirigiendo el recurso hacia el uso productivo y socialmente necesario. La capacidad del sistema para atender un promedio de 15.000 vehículos diarios y gestionar volúmenes significativos de combustible es una prueba fehaciente de su robustez y escalabilidad.

A pesar de su éxito rotundo, es importante reconocer las limitaciones inherentes al alcance de este estudio. El sistema se centró primordialmente en la gestión de la demanda a nivel de distribución final y no en la optimización de la cadena de suministro en su totalidad, desde la producción hasta el transporte a granel. Asimismo, la dependencia inicial de un carnet QR físico, aunque funcional, representa un punto de optimización futura.

No obstante, las lecciones aprendidas son vastas. Este modelo de gestión digital de recursos esenciales en un contexto de crisis es altamente replicable y ofrece un marco valioso para otras regiones, e incluso para otros tipos de bienes escasos. La integración de los principios de la Teoría de Colas, la simulación basada en agentes y un desarrollo ágil demuestra una estrategia metodológica robusta para abordar problemas complejos del mundo real. Se vislumbra un futuro donde estos sistemas puedan incorporar una integración más profunda con datos de suministro en tiempo real a nivel nacional, permitiendo una optimización predictiva y una mayor resiliencia frente a cualquier interrupción en la cadena de valor del combustible.

Conclusiones

La implementación del sistema tecnológico en el Estado Mérida ha demostrado su eficacia transformadora frente a la profunda crisis de escasez de combustible. Este proyecto no solo eliminó las colas interminables y el caos que asolaban a la población, sino que restableció un orden predecible y una distribución equitativa de un recurso vital. Mediante un proceso de implementación fásica e iterativa, potenciado por la flexibilidad y seguridad de los códigos QR, se validó un modelo que no solo administró la escasez, sino que restauró la confianza y minimizó la tensión social. La capacidad del sistema para adaptarse rápidamente a las complejidades del contexto y a los aprendizajes de cada fase piloto, gracias a la adopción del enfoque ágil Scrum, fue fundamental para su éxito.

Este estudio destaca cómo los sistemas de control de acceso basados en tecnología pudieron ayudar a manejar mejor las crisis y asegurar que los recursos más importantes lleguen a quienes los necesitan. La centralización del proceso mediante una plataforma unificada proporcionó una visión global y un control superior a los métodos previos. La identificación vehicular única con códigos QR demostró ser un mecanismo altamente eficaz para regular el acceso, combatiendo el fraude y la especulación. Es importante reiterar que, si bien el sistema gestionó la demanda de manera eficiente, no tuvo la capacidad de resolver la escasez de suministro *per se*.

La validación empírica del ciclo de distribución (5 días vs. 4 días) ilustró claramente esta distinción: un ciclo de 5 días se alineó con la tasa de reabastecimiento promedio, eliminando las colas. Sin embargo, al reducir el ciclo sin un aumento en la oferta, la demanda gestionada superó la capacidad de suministro, resultando nuevamente en esperas. Esto subrayó que la tecnología es una herramienta de gestión potente, pero la solución definitiva a la escasez demandó abordar los factores macroeconómicos y logísticos que restringían la oferta.

Además, la integración de algoritmos que aprenden según cómo se alimentan (es decir, que se auto-optimizan con los datos operativos en tiempo real) permitió una adaptación constante y una gestión más inteligente de los recursos. La trascendencia de esta solución tecnológica en contextos de recursos limitados se manifestó como innegable. Este modelo no solo es replicable, sino que se posiciona como un referente para la gestión eficiente de bienes esenciales en condiciones de oferta restringida.

El éxito de esta iniciativa, que logró atender aproximadamente 15.000 vehículos diarios y distribuir un promedio mensual de 10.500.000 litros de gasolina y 1.200.000 litros de gasoil en períodos estables, valida contundentemente su pertinencia. Quedó categóricamente demostrado que, si bien la tecnología no generó combustible adicional, se erigió como una herramienta indispensable para su administración justa, ordenada y transparente, mitigando drásticamente los efectos perversos del mercado negro y la especulación. La justificación de la inversión en este sistema fue sólida, considerando sus beneficios socioeconómicos como la mejora de la

calidad de vida, la reducción de la tensión social y el debilitamiento del mercado negro.

Este estudio no solo ofrece una solución probada a una problemática acuciante, sino que pavimenta el camino para futuras innovaciones. Se recomienda enfáticamente la migración completa del carnet QR físico a una versión digital integrada, lo que aumentaría la modernización y resiliencia del sistema. Asimismo, la expansión hacia la integración con sistemas de monitoreo de oferta en tiempo real permitiría una optimización predictiva del suministro, consolidando aún más la resiliencia y eficiencia de la cadena de distribución frente a cualquier contingencia futura. La experiencia de Mérida se proyecta así como un faro de la capacidad de la tecnología para transformar la adversidad en oportunidad, sentando las bases para una gobernanza de recursos más inteligente y humana.

Referencias

- Agile Scrum Chile. (2023). *Scrum y la I.A.* Agile Scrum Chile. <https://www.agilescrum.cl/post/scrum-y-la-i-a>
- Alcívar, G., Rodríguez, S., Santos, O., y Loor, B. (2022). Teoría de colas y optimización de proceso de atención al usuario. *AlfaPublicaciones*, 4(3), 22-38. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.221>
- Amazon Web Services. (2023). *Arquitectura de Amazon RDS Custom.* Amazon Web Services. https://docs.aws.amazon.com/es_es/AmazonRDS/latest/UserGuide/custom-concept.html
- Burbano, V., Valdivieso, M., y Burbano, Á. (2024). Teoría de colas en la práctica investigativa: generación de modelos probabilísticos para líneas de espera. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación*, 14(2), 9-24. <https://doi.org/10.19053/uptc.20278306.v14.n2.2024.17811>
- Canyakmaz, C., y Boyacı, T. (2023). Queueing systems with rationally inattentive customers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 25(1), 266-287. <https://doi.org/10.19053/uptc.20278306.v14.n2.2024.17811>
- Castells, M. (2000). *The Rise of the Network Society.* Blackwell Publishing.
- Christian, M., Caplan, A., y Nester, A. (2020). Prioritization, rationing and allocation of scarce resources during a health crisis or pandemic: A rapid literature review. *BMC Medical Ethics*, 21(1), 1-10.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). *Mal desempeño de la inversión, baja productividad laboral y limitado espacio fiscal mantienen bajo el crecimiento económico de América Latina y el Caribe.* CEPAL. <https://www.cepal.org/es/comunicados/mal-desempeno-la-inversion-baja-productividad-laboral-limitado-espacio-fiscal-mantienen>
- El Diario. (2020). *Colas virtuales, la nueva estrategia para surtir gasolina.* El Diario. <https://eldiario.com/2020/10/04/gasolina-colas-virtuales-nueva-estrategia/>

- Gross, D., y Harris, C. (1998). *Fundamentals of Queueing Theory* (3rd ed.) John Wiley & Sons.
- Hillier, F., y Lieberman, G. (2005). *Introduction to Operations Research* (8th ed.) McGraw-Hill.
- ICRC. (1993). *Code of Conduct for the International Red Cross and Red Crescent Movement and NGOs in Disaster Relief*. <https://www.ifrc.org/document/code-conduct-international-red-cross-and-red-crescent-movement-and-ngos-disaster-relief>
- Kendall, D. (1953). Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain. *The Annals of Mathematical Statistics*, 24(3), 338-354. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177728975>
- Medhi, J. (2002). *Stochastic Models in Queueing Theory* (2nd ed.) Academic Press.
- Schwaber, K., y Sutherland, J. (2017). *The Scrum Guide*. Scrum.org. <https://www.scrum.org/resources/scrum-guide>
- Vegas, N., Cabrera, C., Espinoza, J., y Mendoza, A. (2023). Doble autenticación utilizando software móvil de lectura de código QR. *Campus*, 28(35), 45-54. <https://doi.org/10.24265/campus.2023.v28n35.04>
- Venezuela Blog. (2021). *Venezuela Semanal: Inminentes sanciones sobre el combustible diésel aumentan las alarmas*. Venezuela Blog. <https://www.venezuelablog.org/es/venezuela-semanal-inminentes-sanciones-sobre-el-combustible-diesel-aumentan-las-alarmas>
- Voz de América. (2021). *Campo venezolano retrocede por escasez de combustible*. Voz de América. https://www.vozdeamerica.com/a/venezuela_campo-venezolano-retrocede-por-escasez-de-combustible-articulo/6074956.html