



Optimización y trazabilidad de rutas en el proceso de distribución de la cadena logística de Correos de Cuba

Route Optimization and Traceability in the Distribution Process of the Cuban Postal Service Logistics Chain

Jeffrey Blanco González ¹ <https://orcid.org/0000-0001-7020-025X>

Beatriz García Jiménez ^{2,*} <https://orcid.org/0000-0003-4848-1379>

Mercys Sureya Sánchez Rivero ² <https://orcid.org/0000-0001-5488-0750>

Francisco Danilo Sánchez Carol ² <https://orcid.org/0000-0003-1807-4131>

¹Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba

²Grupo Empresarial Correos de Cuba, La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: bjjimenez21@gmail.com

RESUMEN

La optimización y trazabilidad de rutas son fundamentales para la eficiencia en la distribución logística. El artículo presenta un análisis de la implementación del sistema a la medida “GeoRutasPostal” de Correos de Cuba, que incluye módulos de optimización y trazabilidad de rutas. La metodología empleada integra algoritmos avanzados y dispositivos móviles con GPS para monitoreo en tiempo real de la flota de vehículos. Los resultados demuestran una mejora significativa en la eficiencia operativa y el control de las rutas de distribución.

Palabras clave: Correos de Cuba; GPS; Optimización de rutas; sistema “GeoRutasPostal”; Trazabilidad de rutas.

ABSTRACT

Route optimization and traceability are fundamental for efficiency in logistics distribution. This article presents an analysis of the implementation of the custom

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

"GeoRutasPostal" system by the Cuban Postal Service, which includes route optimization and traceability modules. The employed methodology integrates advanced algorithms and mobile devices with GPS for real-time monitoring of the vehicle fleet. The results demonstrate a significant improvement in operational efficiency and control of distribution routes.

Keywords: Cuban Post Office; GPS; Route Optimization; "GeoRutasPostal" system; Route Traceability.

Recibido:07/06/24

Aprobado: 25/06/24

Introducción

La gestión eficiente del proceso de distribución es fundamental para cualquier empresa logística. La optimización de rutas permite a las organizaciones reducir costos operativos, mejorar los tiempos de entrega y maximizar la utilización de recursos. En este sentido, la implementación de modelos matemáticos, como la programación lineal, ha demostrado ser una herramienta clave para asignar eficientemente los orígenes a los destinos, minimizando costos y aumentando la eficacia operativa [1]. Además, la optimización de rutas de transporte se ha utilizado exitosamente en otros sectores, como en empresas manufactureras, donde el uso de modelos matemáticos ha mejorado significativamente la eficiencia logística y reducidos costos operativos [2].

Por su parte, la trazabilidad proporciona visibilidad en tiempo real del movimiento de los vehículos, lo que facilita la toma de decisiones informadas y una rápida capacidad de respuesta ante eventualidades. En este contexto, la integración de tecnologías avanzadas, como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y la optimización de rutas mediante algoritmos, se vuelve indispensable [3]. La incorporación de estas tecnologías no solo mejora la logística, sino que también impulsa estrategias de marketing personalizadas, como se ha observado en sectores relacionados con el turismo y los servicios de proximidad [4].

El Grupo Empresarial Correos de Cuba (GECC) está compuesto por 20 empresas y una Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE). Posee una extensa red de 823 oficinas de correos, de las cuales 646 están informatizadas. Cada empresa del grupo cumple funciones específicas que contribuyen al funcionamiento integral y a la prestación del Servicio Postal Universal (SPU), así como otros servicios de valor añadido y alto impacto social para todos los ciudadanos. Entre los servicios que ofrece el grupo se encuentran la imposición y entrega a domicilio de correspondencia nacional e internacional, paquetería, mensajería expresa,

encomiendas postales nacionales e internacionales, telegramas, prensa y publicaciones a suscriptores del sector estatal y particular [5].

Sin embargo, Corres de Cuba enfrenta numerosos desafíos en la optimización y monitoreo de sus procesos de distribución. La falta de una planificación eficiente y la carencia de sistemas de trazabilidad conducen a retrasos en las entregas, aumento de costos operativos y una menor satisfacción del cliente. Estudios recientes han demostrado que una gestión inadecuada de las rutas de distribución puede resultar en pérdidas económicas significativas y una disminución de la competitividad en el mercado. Un informe de la Asociación Internacional de Transporte y Logística (2021) indicó que las empresas que no utilizan tecnologías avanzadas para la optimización de rutas experimentan un incremento del 20% en los costos operativos y una reducción del 15% en la satisfacción del cliente. Estas problemáticas subrayan la necesidad de implementar soluciones tecnológicas como "GeoRutasPostal" para mejorar la eficiencia operativa y mantener altos niveles de servicio.

Consciente de los beneficios de una gestión eficiente del proceso de distribución, el GECC ha implementado el sistema "GeoRutasPostal". Este sistema está diseñado para planificar, optimizar y trazar las rutas primarias, secundarias y terciarias (última milla), monitoreando en tiempo real la ubicación de sus vehículos mediante GPS. La implementación de soluciones similares en otros contextos logísticos ha demostrado ser altamente efectiva para superar barreras tecnológicas y operativas [6]. Este artículo presenta un análisis de la implementación de los módulos de optimización y trazabilidad de rutas del sistema y su impacto en la operación de Correos de Cuba [7].

Métodos

Para abordar los objetivos de esta investigación, se empleó una metodología de tipo exploratorio-cuantitativa. Este enfoque permite describir el proceso actual de distribución en la cadena logística y establecer métricas para evaluar el desempeño de la flota de vehículos. Se utilizaron los métodos de entrevista y observación para la recolección de datos clave.

Recolección de Datos

1. Se realizó un cuestionario dirigido al Departamento de Logística y a los especialistas de transporte del GECC. El objetivo de estas entrevistas fue identificar los indicadores clave de desempeño y comprender los desafíos actuales en la gestión de las rutas de distribución.

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

2. Se aplicó una guía de observación en el Departamento de Logística de la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Logística. Esta guía permitió identificar los pasos y requisitos fundamentales en el proceso de distribución.

Diseño del Sistema

El diseño del sistema se basó en una comprensión detallada de cómo la geografía del transporte influye en la logística y la distribución de mercancías. Este enfoque es esencial para identificar patrones de movilidad y diseñar redes logísticas más eficientes [8]. En este caso, se desarrolló el sistema "GeoRutasPostal" utilizando la metodología ágil SCRUM, reconocida por su capacidad para integrar de manera constante a las partes interesadas y adaptarse flexiblemente a los cambios en los requisitos del proyecto [9]. El proceso de desarrollo se dividió en las siguientes fases:

1. Planificación: Se identificaron las necesidades del GECC y se establecieron los objetivos del sistema.
2. Diseño: Se elaboraron los diagramas y modelos del sistema, incluyendo el diseño de los módulos de optimización y trazabilidad de rutas.
3. Desarrollo: Se codificaron los módulos del sistema utilizando algoritmos avanzados que permiten la optimización de rutas mediante el uso de modelos exactos, como los descritos en el problema de rutas de vehículos (VRP) [10].
4. Implementación y evaluación: Se desplegó el sistema y se evaluó su desempeño mediante pruebas en entornos reales.

Componentes del Sistema

El sistema "GeoRutasPostal" consta de dos módulos principales:

1. **Módulo de optimización de rutas**, diseñado para mejorar la planificación de las rutas de distribución, basándose en datos recopilados a través de entrevistas y observaciones que identificaron deficiencias en la optimización manual previa. Para abordar estos problemas, se implementó un algoritmo avanzado que optimiza las rutas considerando variables como la disponibilidad de combustible y la sincronización en la cadena logística. Un análisis de Pareto permitió identificar problemas específicos, como la baja disponibilidad de combustible, la irregularidad e incertidumbre en su asignación, así como problemas organizativos. Entre estos últimos se encuentran la falta de conocimiento y la falta de sincronización en la cadena logística, además de un inadecuado seguimiento y control de la flota de vehículos de la organización. Los resultados se pueden ver en la Fig. 1 y la Tabla 1 respectivamente.

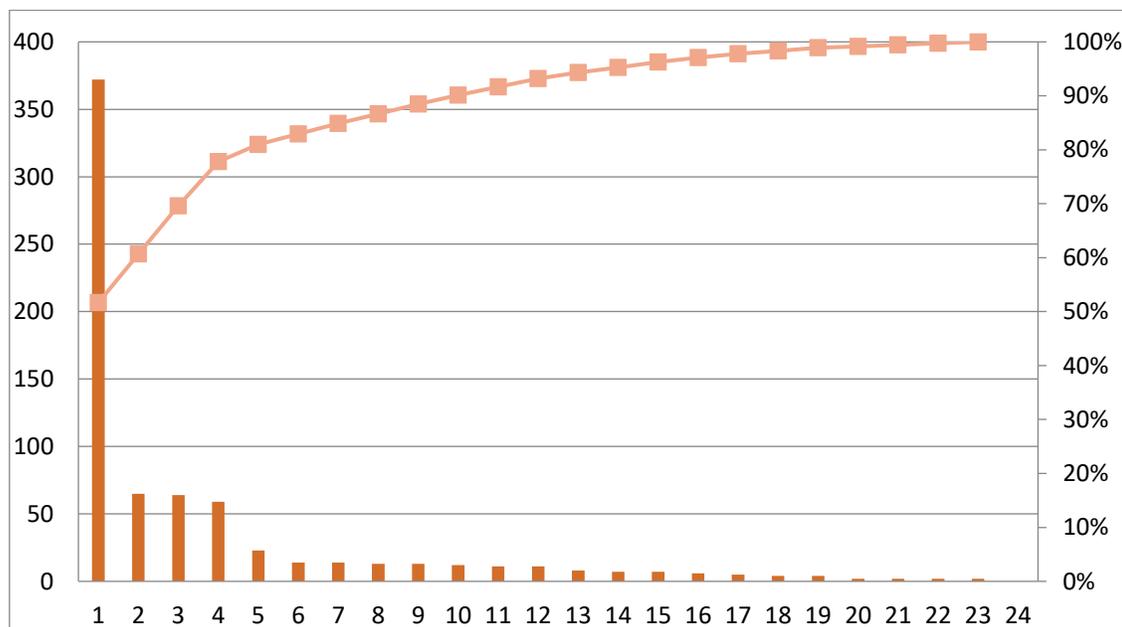


Fig. 1 - Diagrama de Pareto de los problemas identificados en el proceso de distribución con los envíos.

Tabla 1 - Problemas identificados e identificados en el diagrama de Pareto

No.	Clasificador interno (problemas)	Cantidad de incidencias semestre 2021	%	% acumulado
1	Demora en procesamiento y entrega	372	52%	52%
2	Demora OCI	65	9%	61%
3	Cambio de contenido	64	9%	70%
4	Expoliado	59	8%	78%
5	Devuelto al imponente	23	3%	81%
6	Mal encaminado	14	2%	83%
7	Inconformidad con la tarifa (aforo)	14	2%	85%
8	Demora en salida al exterior	13	2%	87%
9	Demora en el CTP origen	13	2%	88%
10	Pérdida	12	2%	90%
11	Deterioro	11	2%	92%
12	Demora en el CTP de destino	11	2%	93%
13	Posiblemente extraviado	8	1%	94%
14	Inconformidad con respuesta	7	1%	95%
15	Demora en llegar a CTP	7	1%	96%
16	Demora entrega	6	1%	97%
17	Inconformidad con pago de servicio	5	1%	98%
18	Inconformidad con cobro de almacenaje	4	1%	98%
19	Cambio de contenido	4	1%	99%
20	Retenido fuera de Cuba	2	0%	99%
21	Mal encaminado	2	0%	99%
22	Inconformidad con tarifa	2	0%	100%
23	Demora en reencaminamiento	2	0%	100%
24	Demora indemnización	0	0%	100%
25	Demora en procesamiento y entrega	720	100%	
TOTAL		372	52%	

Fuente: Elaboración propia

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

2. **Módulo de trazabilidad de rutas**, se basó en los datos recopilados durante las entrevistas y observaciones, que identificaron una serie de deficiencias en el proceso actual. Entre las principales deficiencias se encontraron la falta de visibilidad en tiempo real de la ubicación de los vehículos, la ausencia de un sistema automatizado para el registro de tiempos de tránsito y la dependencia de métodos manuales para el seguimiento de las rutas.

Para abordar estos problemas, el módulo de trazabilidad se integró con una aplicación móvil utilizada por los conductores, permitiendo acceder a coordenadas de geolocalización (latitud y longitud) y otras variables relevantes como el estado y tiempos de tránsito de los vehículos. Esta herramienta registra y analiza datos sobre el rendimiento de las rutas, identifica áreas de mejora y facilita la toma de decisiones informadas. Una vez recopilados los datos a través del cuestionario, se procedió a su análisis utilizando un Tablero de Control como patrón visual. Este Tablero de Control proporciona una representación visual de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) necesarios para medir la eficiencia y efectividad del proceso de distribución.

Tecnologías Utilizadas

En el desarrollo del sistema se utilizaron diversas tecnologías informáticas (tabla 2):

Tabla 2 - Tecnologías utilizadas para el desarrollo del sistema GeoRutasPostal.

	Tecnologías y justificación
<i>Backend</i>	Python como lenguaje de programación y Django como <i>framework</i> web para proporcionar una arquitectura robusta para el manejo de bases de datos, autenticación y administración del sitio [11].
Base de Datos	PostgreSQL que ofrece una alta fiabilidad y rendimiento y PostGIS, una extensión que permite realizar consultas geográficas complejas y manipular datos espaciales directamente en la base de datos [12,13].
Mapas	OpenStreetMap y OSGeo4W para la visualización de rutas y puntos de interés en mapas interactivos [14].
<i>Frontend</i>	HTML, CSS y JavaScript para estructurar y estilizar el contenido, y añadir interactividad a las páginas web [15].
Aplicación Móvil	Kotlin para el desarrollo de aplicaciones Android, proporcionando una sintaxis concisa y características avanzadas para la creación de aplicaciones móviles robustas [16].

Fuente: Elaboración propia

Resultados

En conjunto, estas tecnologías fueron seleccionadas para crear un sistema robusto, escalable y eficiente que permitió la optimización y trazabilidad de las rutas de distribución en la cadena logística de Correos de Cuba. La combinación de herramientas y lenguajes modernos aseguró que el sistema pudiera manejar grandes volúmenes de datos, realizar cálculos geoespaciales complejos y proporcionar una experiencia de usuario intuitiva y eficaz. Las figuras 2, 3 y 4 respectivamente, ilustran algunas de las interfaces y funcionalidades clave del sistema. La figura 2 presenta la interfaz de la herramienta de administración utilizada en el sistema "GeoRutasPostal" para definir y gestionar las rutas óptimas. Esta herramienta permitió agregar a la base de datos los recorridos determinados por el algoritmo matemático implementado en el sistema, optimizando así los trayectos según criterios específicos como distancia, tiempo y prioridades de entrega.

En la parte izquierda de la interfaz se muestra un panel de configuración que permite al usuario ingresar datos relevantes para la creación de las rutas. Entre estos datos se encuentra la fecha, que indica el día de creación o programación de la ruta; el tipo de ruta, que especifica su clasificación, como "Ruta Terciaria"; el territorio, que define el área geográfica asociada a la ruta, siendo en este caso "La Habana"; el tramo, que describe la función específica de la ruta, como "Entrega de Paquetería"; y finalmente, el gestor, que identifica al responsable asignado a la ruta.

Además, en el panel inferior izquierdo, se proporciona información sobre los distribuidores responsables y una lista de clientes asociados a la ruta. Los clientes incluyen puntos de entrega identificados por su tipo y nombre.

En el lado derecho de la interfaz, se visualiza un mapa interactivo, generado con tecnología OpenStreetMap, donde se trazan las rutas definidas. Los puntos marcados en el mapa representan ubicaciones clave, como los puntos de entrega o los almacenes, mientras que las líneas rojas indican el recorrido planificado. Esta visualización permite a los usuarios analizar la distribución espacial de las rutas y realizar ajustes si es necesario.

La herramienta no solo facilita la creación y ajuste de rutas, sino que también garantiza que estas sean óptimas y alineadas con los objetivos logísticos de la organización. Su diseño intuitivo permite a los operadores gestionar eficientemente

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

los datos y visualizar en tiempo real la interacción entre los diferentes elementos de la red logística.

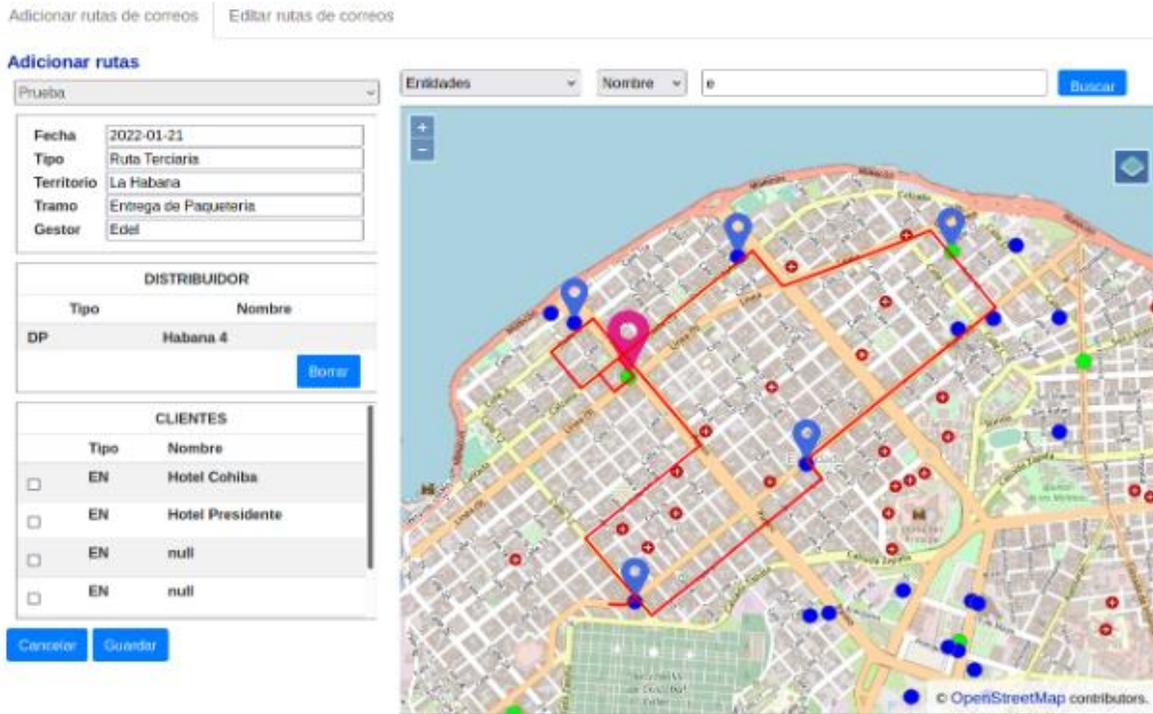


Fig. 2 - Interfaz de usuario adicionar rutas.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 3 presenta la interfaz de usuario del Visor en el sistema "GeoRutasPostal". Esta herramienta permite una inspección detallada y visual de las rutas sobre un mapa interactivo. Proporciona información precisa tanto de los recorridos planificados como de su ejecución en tiempo real. En la parte superior de la interfaz se encuentran campos clave como el nombre de la ruta, su tipo (en este caso, primaria), la fecha de programación, el territorio al que pertenece (como "Habana") y el administrador responsable. Estos datos permiten al usuario identificar rápidamente la ruta que está siendo monitoreada.

En el mapa interactivo, se destaca gráficamente el trayecto de la ruta mediante líneas y marcadores. Los puntos marcados indican ubicaciones relevantes dentro del recorrido, como el inicio y fin de la ruta, mientras que las líneas muestran el camino planificado que conecta estos puntos. Además, el visor facilita al usuario obtener una comprensión clara del contexto geográfico, como zonas urbanas y rurales, así como la proximidad a otros elementos del territorio.

Esta funcionalidad es esencial para garantizar un monitoreo eficiente de las rutas, permitiendo identificar posibles desviaciones, evaluar el cumplimiento del plan

logístico y optimizar las operaciones en tiempo real. La interfaz es intuitiva y diseñada para ofrecer a los operadores y administradores una herramienta poderosa para la gestión y supervisión de las rutas.

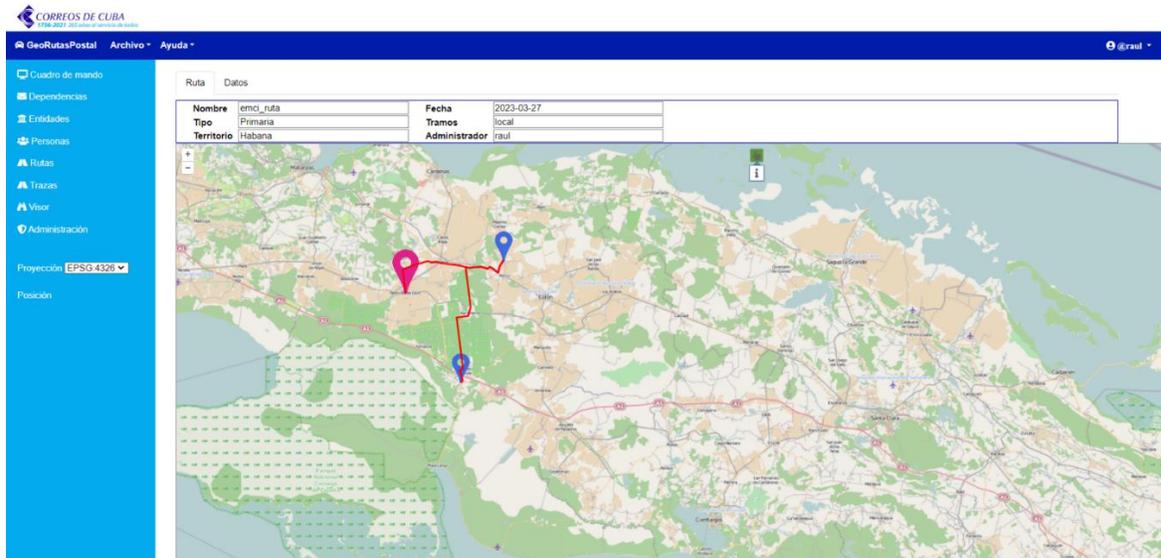


Fig.3 - Interfaz de usuario de la ruta seleccionada en el Visor.

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 presenta una interfaz del sistema "GeoRutasPostal" que permite visualizar información detallada sobre las trazas de los vehículos en las rutas asignadas. Al seleccionar la opción "Datos", se despliega una tabla organizada en dos secciones principales. La primera sección, denominada "Tramos de ruta", detalla la información relacionada con los tramos programados, incluyendo los puntos de inicio y final de cada segmento, que indican el punto de partida y destino de las rutas. Además, se registra la velocidad promedio alcanzada en el tramo, la distancia recorrida (que en este caso muestra valores "0" debido a simulaciones o pruebas), el tiempo estimado para completar el recorrido, las condiciones del tráfico (como "normal") y el estado físico de la vía (por ejemplo, "regular"). También se incluye información sobre la cobertura de comunicación disponible en el tramo. La segunda sección, denominada "Trazas de vehículos en la ruta", proporciona una lista detallada de los vehículos activos, especificando datos como la chapa del vehículo, el conductor, el número de celular, el representante asociado, el modelo de carga transportado, así como la fecha y hora del último cambio de estado y el estado actual del vehículo (activo o inactivo). En conjunto, esta funcionalidad ofrece un monitoreo integral y en tiempo real de los vehículos, lo que permite gestionar las rutas de manera más eficiente y responder con rapidez ante eventualidades. Además, la interfaz está diseñada de forma clara e intuitiva, lo que facilita la

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

identificación de problemas tanto en los tramos de las rutas como en el estado operativo de los vehículos.

The screenshot shows the 'GeoRutasPostal' interface with a sidebar menu on the left containing options like 'Tablero de Control', 'Dependencias', 'Entidades', 'Personas', 'Rutas', 'Trazas', 'Visor', and 'Administración'. The main content area is titled 'Ruta Datos' and is divided into two sections:

Tramos de ruta

Inicio	Final	Velocidad	Distancia	Tiempo	Tráfico	Estado de la vía	Cobertura de comunicación
España Republicana	Pedro Betancourt	50	0	0:30:00	normal	regular	regular
España Republicana	Central Australia	50	0	0:30:00	normal	regular	regular

Trazas de vehículos en la ruta

Chapa	Chofer	Celular	Representante	Modelo de Carga	Fecha de Cambio de Estado	Hora de Cambio de Estado	Estado
B157408	wwwwww	55686	qqqqq	11111111	2023-03-27	22:43	Activo
B333444	uuuuu	8888888	ttttt	22222222	2023-03-27	22:44	Inactivo
B12344	menardo	5555556	mano	9898989	2023-03-27	23:57	Activo
9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	2023-03-28	00:13	Activo

Fig. 4 - Interfaz de usuario de la opción “Datos” del Visor.
Fuente: Elaboración propia

La implementación de estos módulos permitió una mejora significativa en la eficiencia operativa del GECC. Se realizaron pruebas en escenarios urbanos y rurales para validar la efectividad de los módulos, midiendo indicadores clave de desempeño (KPIs) como la precisión de la geolocalización, tiempos de actualización y consumo de combustible antes y después de la implementación del sistema. A continuación, se presentan las fórmulas, variables y significado de los KPIs calculados.

- 1. Eficiencia en la conducción:** Porcentaje de rutas completadas sin incidentes o desviaciones:

$$E_c = \left(\frac{\text{Kilómetros conducidos eficientemente}}{\text{Total de kilómetros recorridos}} \right) \times 100 \quad (1)$$

- 2. Entrega en tiempo:** Porcentaje de entregas realizadas dentro del plazo acordado respecto al total de entregas:

$$E_t = \left(\frac{\text{Números de entregas a tiempo}}{\text{Número total de entregas}} \right) \times 100 \quad (2)$$

- 3. Desviaciones en kilómetros por trayecto:** Desviaciones en kilómetros por tramo:

$$D_t = \left(\frac{\text{Total de desviaciones de kilómetros}}{\text{Número de tramos}} \right) \quad (3)$$

- 4. Tasa de error en entregas:** Porcentaje de entregas que presentan errores o desviaciones respecto a la ruta planificada:

$$T_e = \left(\frac{\text{Números de entregas con error}}{\text{Número total de entregas}} \right) \times 100 \quad (4)$$

- 5. Índice de consumo de combustible:** Consumo promedio de combustible por kilómetro recorrido:

$$Icc = \left(\frac{\text{Total de combustible consumido}}{\text{Total de kilómetros recorridos}} \right) \quad (5)$$

6. Tiempo de recorrido: Cumplimiento del tiempo real de recorrido respecto al tiempo planificado:

$$Tr = \left(\frac{\text{Tiempo real recorrido}}{\text{Tiempo planificado}} \right) \quad (6)$$

Los resultados de las pruebas indicaron que, en la mayoría de los casos, los datos de ubicación registrados por el sistema eran casi idénticos a la posición real del vehículo. El módulo de trazabilidad mostró una alta precisión y efectividad en zonas urbanas con buena cobertura de red. Sin embargo, en zonas rurales con baja o nula cobertura de red, se perdieron datos de ubicación en tiempo real, lo que llevó a la implementación de un dispositivo de almacenamiento local para registrar y enviar los datos de localización desde las zonas de silencio cuando se recuperara la conexión.

La capacidad de monitorear de las rutas en tiempo real permitió a los especialistas del GECC tomar decisiones informadas y responder rápidamente a cualquier eventualidad en la ruta. La optimización de rutas mediante algoritmos específicos resultó en una utilización más eficiente de los recursos disponibles, alineándose con las mejores prácticas identificadas en estudios previos y contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente en la logística postal del país.

Discusión

La implementación del sistema "GeoRutasPostal" en Correos de Cuba ha mostrado resultados prometedores en términos de mejora de la eficiencia operativa y optimización de recursos. Esta sección analiza estos resultados en el contexto de la literatura existente y destaca las implicaciones prácticas de los hallazgos.

La optimización de rutas mediante algoritmos avanzados ha permitido una utilización más eficiente de los recursos disponibles, lo que se traduce en una reducción de los costos operativos y el consumo de combustible. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas que destacan la importancia del diseño eficiente de redes logísticas considerando las dinámicas territoriales y geográficas [8]. La capacidad de planificar rutas óptimas no solo contribuye a la reducción de los costos operativos hasta en un 20% [3], sino también a la sostenibilidad ambiental, un aspecto cada vez más importante en la industria de la logística.

La integración de tecnologías de geolocalización y aplicaciones móviles ha mejorado la trazabilidad de las rutas, proporcionando visibilidad en tiempo real y facilitando la toma de decisiones informadas. Tal como lo indican estudios previos,

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

la precisión en la geolocalización es fundamental para mejorar la eficiencia operativa en las empresas de logística [17]. Esta capacidad es esencial para mantener altos niveles de satisfacción del cliente, garantizando la puntualidad y fiabilidad en las entregas, aspectos altamente valorados en la industria postal [14].

A pesar de los beneficios observados, la implementación del sistema no estuvo exenta de desafíos. Con un enfoque proactivo, la implantación de un dispositivo de almacenamiento local para registrar y enviar datos de localización desde las zonas de silencio, se garantizó persistencia de datos críticos para mantener la trazabilidad de las rutas, incluso en áreas con infraestructura de red deficiente. Este desafío y su solución son consistentes con las recomendaciones de la literatura sobre la importancia de contar con sistemas de respaldo en entornos con infraestructuras limitadas [13].

La combinación de diversas tecnologías informáticas, como Python, Django, PostgreSQL, PostGIS, OpenStreetMap, HTML, CSS, JavaScript y Kotlin, ha sido fundamental para el éxito del sistema "GeoRutasPostal". Estas tecnologías permitieron garantizar en entornos de desarrollo y producción crear un sistema robusto, escalable y eficiente que pueda manejar los grandes volúmenes de datos generados y realizar cálculos geoespaciales complejos. La integración de estas tecnologías aseguró que el sistema pudiera adaptarse y evolucionar con las necesidades cambiantes del GECC, proporcionando una base sólida para futuras mejoras e innovaciones [16].

Conclusiones

La implementación del sistema "GeoRutasPostal" ha proporcionado una plataforma tecnológica avanzada que ha transformado significativamente la gestión logística de Correos de Cuba. Este sistema ha permitido no solo mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad de las rutas, sino también establecer un marco para la innovación continua y la adaptación a futuros desafíos.

Uno de los logros clave de esta implementación ha sido la capacidad de integrar tecnologías avanzadas de geolocalización y algoritmos de optimización en una solución coherente y escalable. Esto ha facilitado una gestión más precisa y reactiva de la flota de vehículos, permitiendo a Correos de Cuba mantenerse competitivo en un mercado cada vez más exigente.

Además, la flexibilidad y escalabilidad del sistema "GeoRutasPostal" aseguran que pueda evolucionar junto con las necesidades cambiantes del negocio. Esta característica es crucial para cualquier organización que aspire a mantener su relevancia y eficiencia en un entorno de rápido cambio tecnológico y operacional.

Referencias bibliográficas

- [1] **Terrero Huerta KY, Compañ Sarmiento R, Camacho Herrera A, et al.** Programación lineal aplicada a la optimización de rutas de transporte en SXR-POLYMERS. *Investigación y Sistemas*. 2024;18(9). Disponible en: <https://is.uv.mx/index.php/IS/article/view/2889>.
- [2] **Aguiar Castillo CL, Beerli Palacio A, Pérez Jiménez R.** Nuevos sistemas de geolocalización aplicados al marketing de proximidad en establecimientos hoteleros. *International Journal of Information Systems and Tourism (IJIST)*. 2017;2(1). Disponible en: <https://www.uajournals.com/ojs/index.php/ijist/article/view/204>.
- [3] **Mazo WHA, Londoño L, Carvajal LJO, Marín A, Zapata ACZ.** Propuesta para el mejoramiento del ciclo del pedido en una empresa alimenticia. Medellín: Universidad Adventista de Colombia; 2023. ISBN: 978-958-5489-42-6. Disponible en: <http://repository.unac.edu.co/bitstream/handle/123456789/1228/LIBRO%20-%20Aplicaciones%20Investigativas%20desde%20la%20Ingeniería.pdf>.
- [4] **Zhang X, Schramm HJ.** Assessing the market niche of Eurasian rail freight in the belt and road era. *The International Journal of Logistics Management*. 2020;31(4):729-751. Disponible en: <https://www.ingentaconnect.com/content/mcb/ijlm/2020/00000031/00000004>.
- [5] **Grupo Empresarial Correos de Cuba (GECC).** Estructura - Correos de Cuba. La Habana, Cuba; 2015. Consultado el 28 de diciembre de 2021. Disponible en: <https://www.correos.cu/estructura/>.
- [6] **Rathore B, Gupta R, Biswas B, et al.** Identification and analysis of adoption barriers of disruptive technologies in the logistics industry. *The International Journal of Logistics Management*. 2021;32(5):1497-1518. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/publication/issn/0957-4093/vol/33/iss/5>.
- [7] **Centro Principal Tecnológico Postal.** Manual de Usuario - GeoRutasPostal. La Habana, Cuba: Grupo Empresarial Correos de Cuba; 2022. p. 19. (*Documento interno no disponible públicamente*).
- [8] **Hesse M, Rodrigue JP.** The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*. 2004;12(3):171-184. ISSN: 0966-6923. Disponible en: https://moodle.studiumdigitale.uni-frankfurt.de/moodle/pluginfile.php/318072/mod_folder/content/0/Hesse%2C%20Rodrigue%202004.pdf.
- [9] **Briones FE, León M, Musso L, Pozo E.** SCRUM como método ágil aplicado al aprendizaje dentro de cursos de estudiantes de maestría. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*. 2022;(E47):1-12. ISSN: 1646-9895. Disponible en: <http://www.risti.xyz/issues/ristie47.pdf>
- [10] **Laporte G, Nobert Y.** Exact algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Discrete Mathematics*. 1987; 31:147-184. ISSN: 0167-5060. Disponible en: <https://www.studocu.com/en-us/document/indiana-university/advanced-industrial-hygiene/exact-algorithms/24900044>.

OPTIMIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DE RUTAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA DE CORREOS DE CUBA

- [11] **Vidal-Silva CL, Sánchez-Ortiz A, Serrano J, Rubio JM.** Experiencia académica en desarrollo rápido de sistemas de información web con Python y Django. *Formación Universitaria*. 2021;14(5):85-94. ISSN: 0718-5006. Python y Django. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000500085>
- [12] **PostgreSQL Global Development Group.** PostgreSQL: The World's Most Advanced Open-Source Relational Database. 1996. Consultado el 30 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.postgresql.org/>.
- [13] **Obe LSH, Hsu RO.** PostGIS in Action, Third Edition. 3rd ed. Shelter Island, NY: Manning Publications; 2021. ISBN: 978-1617295522. Disponible en: <https://www.manning.com/books/postgis-in-action-third-edition>.
- [14] **Coetzee S, Ivánová I, Mitasova H, Brovelli MA.** Open geospatial software and data: A review of the current state and a perspective into the future. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020;9(2):90. ISSN: 2220-9964. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/2/90>.
- [15] **Ranjan A, Sinha A, Battewad R.** JavaScript for modern web development: Building a web application using HTML, CSS, and JavaScript. New Delhi: BPB Publications; 2020. ISBN: 978-9389423467. Disponible en: <https://bpbonline.com/products/javascript-for-modern-web-development>.
- [16] **Corilla Quispe, K. V.** Desarrollo de aplicaciones móviles usando el lenguaje Kotlin. *Dialogos Abiertos*. 2022;1(1):22-33. ISSN: 2737-6349. Disponible en: <https://doi.org/10.32654/DialogosAbiertos.1-1.3>
- [17] **Zapata-Cortes JA, Vélez-Bedoya AR, Arango-Serna MD.** Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte. *Investigación Administrativa*. 2020;49(126):1-17. ISSN: 2448-7678. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456063405009>.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Contribución de cada autor:

M.Sc Beatriz García Jiménez: Fue la diseñadora y desarrolladora principal del sistema "GeoRutasPostal", supervisando todas las etapas del desarrollo e implementación del software.

M.Sc Mercys Sureya Sánchez Rivero: Trabajó en el diseño y levantamiento de los requisitos relacionados con las rutas terciarias (última milla), contribuyendo al análisis detallado de estas.

M.Sc Francisco Danilo Sánchez Carol: Realizó el diseño y levantamiento de los requisitos para las rutas primarias y secundarias, asegurando una integración eficiente con los módulos de optimización.

Dr.C Jeffrey Blanco González: Participó en la conceptualización de la investigación, brindó tutorías y revisión del diseño del sistema de información, asegurando su alineación con los objetivos de optimización y trazabilidad de rutas.