

Desarrollo de la plataforma Rutia para la innovación y optimización en la gestión de procesos de transporte de pasajeros

Development of platform Rutia for innovation and optimization in the management of passenger transport processes

David Ovallos Gazabon



Angie Marriaga Barroso



Corporación Politécnica de la Costa Atlántica, Colombia

Luis Cuevas-Rojas



Deivís Palencia García



Datagas SAS, Colombia

Ronald Martelo-Ching



SENA

OPEN ACCESS

Recibido: 10/03/2023

Aceptado: 15/05/2023

Publicado: 09/06/2023

Correspondencia de autores:

dpalencia@datagas.com.co



Copyright 2020
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Presentar el desarrollo de Rutia, un ecosistema de soluciones tecnológicas que incluyen elementos de inteligencia artificial, y analítica de datos para administrar rutas en el transporte de pasajeros en modalidad empresarial, turística y de transporte escolar además de los contratos y otras operaciones involucradas. **Metodología:** Se desarrolló la solución tecnológica a través de tres (3) fases Diseño y ajuste de la plataforma Rutia, Desarrollo y validación de nuevas funcionalidades y Despliegue de la estrategia comercial. Este trabajo presenta los resultados de su validación en ambiente real de la solución con un grupo de cinco (5) early adopters, lo que permitió la retroalimentación y validación de las funcionalidades de la plataforma. **Resultados:** La solución permite la optimización e Integración con GPS, aplicativos Móviles, digitalización de información y reportes de interés para el sector. **Conclusiones:** En términos generales la plataforma cumple con las expectativas de los usuarios e impacta de manera positiva en la productividad de los vehículos (aumento promedio del 21%), lo que se refleja en la disminución de tiempos de ejecución de ruta (12% en promedio), disminución de costos de ruta (12% en promedio) e incremento del volumen de la operación y satisfacción de usuarios.

Palabras clave: Competitividad, inteligencia artificial, innovación, optimización, sector transporte.

Abstract

Objective: Present the development of Rutia, an ecosystem of technological solutions that include elements of artificial intelligence, and data analytics to manage routes in the transport of passengers in business, tourist and school transport modes, as well as the contracts and other operations involved. **Methodology:** The technological solution was developed through three (3) phases: Design and adjustment of the Rutia platform, Development and validation of new functionalities and Deployment of the commercial strategy. This work presents the results of its validation in a real environment of the solution with a group of five (5) early adopters, which allowed feedback and validation of the platform's functionalities. **Results:** The solution allows the optimization and integration with GPS, mobile applications, digitization of information and reports of interest to the sector. **Conclusions:** In general terms, the platform meets user expectations and has a positive impact on vehicle productivity (average increase of 21%), which is reflected in the decrease in route execution times (12% on average), decrease in route costs (12% on average) and increase in the volume of the operation and user satisfaction.

Keywords: Competitiveness, artificial intelligence, innovation, optimization, transport sector.

Introducción

El transporte de pasajeros es fundamental para movilizar las personas alrededor del mundo movilizandolas personas a sus lugares de trabajo, destinos turísticos o labores de la cotidianidad. Se prevé que para el año 2050 el 68% de la población mundial se concentrará en las ciudades, lo que provocará congestión en la movilidad, contaminación del aire, expansión no controlada, entre otros aspectos que tendrán impacto en la sociedad y el medio ambiente. Por lo cual, empezar a trabajar en modelos de ciudades inteligentes y sostenibles haciendo uso de la tecnología que le apunten a prevenir la aparición de estas problemáticas son fundamentales para el crecimiento consciente y sostenible de las ciudades alrededor del mundo [1, 2, 3].

Debido a la importancia del transporte de pasajeros muchos países se vieron afectados por las restricciones a nivel de movilidad generadas por la crisis del covid19, normalmente el transporte de pasajeros en las urbes suele ser uno de los sectores que más aportan a la economía de la ciudad, generando directos empleos (conductores, administrativos), empleos indirectos (cadena productiva del transporte terrestre) y aportando a la calidad de vida de las personas. Se vienen implementando estrategias gubernamentales y tecnológicas en muchos países que buscan la rápida reactivación económica de este sector. Las medidas de prevención del Covid19 han impactado la rentabilidad de las empresas de transporte de pasajeros, aumentando los costos por los procesos de desinfección durante y después de los servicios, además de disminuir la capacidad de abordaje como medida preventiva [4, 5].

El sector de transporte debe elevar la eficiencia en la prestación de sus servicios, en términos de calidad, seguridad, tiempo, costo y beneficio. El uso de datos recolectado por los dispositivos instalados y a bordo de los vehículos deben ser apoyo para la gestión y toma de decisiones en las empresas de transporte, tener una correcta administración y análisis de las operaciones impacta directamente en la eficiencia del servicio y en su éxito financiero. Con el aumento en la cantidad de rutas y servicios también se eleva el número de fallas posibles en la operación de la empresa: retraso en los servicios y procesos financieros, fallas en los vehículos, inconformidad del cliente final, entre otras, comúnmente relacionadas a errores humanos. Por lo que incluir procesos de innovación y automatización con herramientas tecnológicas como apoyo a los participantes de la cadena operativa, ayuda a reducir la cantidad de fallas que surgen en estos procesos.

Encontrar una ruta óptima (o al menos muy buena) para los vehículos que entregan productos a los clientes o que transportan pasajeros es una de las funciones clave en cualquier sistema de transporte. Desde los primeros trabajos propuestos en la literatura a fines de 1959, la literatura sobre problemas de rutas de vehículos ha ido en aumento [6]. Este es un problema clásico dentro del campo de la optimización y se conoce como Vehicle Routing Planning (VRP), desde el punto de vista de la complejidad, el VRP clásico es conocido como NP-hard ya que generaliza el Problema del Vendedor Viajero (TSP) y el Problema de Empaquetado (BPP) que son ambos problemas NP-hard bien conocidos (Garey & Johnson, 1979) citados en [6].

El trabajo de [6] realiza una extensa revisión de trabajos publicados hasta 2015 sobre el problema VRP en sus diversas variantes, destacando la versión clásica, el VRP capacitado, VRP con flota heterogénea de vehículos, VRP con ventanas de tiempo (VRPTW), VRP con recogidas y entregas y periódicas, VRP dinámico (DVRP), VRP periódico (PVRP), VRP con múltiples viajes (VPRMT) y Problema de generación de rutas para vehículos con entrega dividida (SDVRP).

En los últimos años, la producción científica sobre VRP ha incluido variables adicionales como aspectos medioambientales [7], aspectos relacionados a la distribución de elementos biomédicos [8] y tendencia en el uso de vehículos eléctricos [9, 10] considerando su rango limitado de operación en la planificación del

transporte de carga urbano debido a la capacidad restringida de la batería y el consumo de energía, además de los impactos en la demanda de transporte de carga, el kilometraje por carretera realizado y los costos de transporte resultantes y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Tal como se mencionó anteriormente, el desarrollo computacional ha permitido el crecimiento de las investigaciones en la optimización de problemas de tipo VRP y dentro de esto se destaca la aplicación de técnicas o métodos de inteligencia artificial (IA). El trabajo de [11] destaca los métodos de inteligencia artificial (IA) mayormente empleados para la solución de VRP son los algoritmos evolutivos, control de lógica difusa, control de redes neuronales artificiales, aprendizaje reforzado y control basado en agentes. Los algoritmos evolutivos de IA se han investigado ampliamente como una alternativa a los algoritmos exactos para abordar este problema. Dentro de los algoritmos evolutivos se incluyen Hill Climbing, algoritmos genéticos (GA), optimización de enjambres de partículas (PSO) y colonia de hormigas.

En línea con esto, el trabajo de [12] señala que las técnicas de inteligencia artificial (IA) juegan un papel importante papel en el desarrollo y optimización de complejos problemas en varios campos y destaca el uso de técnicas de IA para optimizar los problemas NP-hard en el área de ruteo de vehículos orientado a la minimización de costos. Se indica que las técnicas más empleadas son los algoritmos genéticos (GA), GA híbridos, GA paralelos, GA con Big Data y técnicas mejoradas de IA.

Un caso particular de aplicación de técnicas de IA para la solución de problemas de VRP se tiene en [13] donde se usa un algoritmo modificado Max-Min Ant System (MMAS) con el objetivo de encontrar un conjunto de rutas globalmente óptimo para un número determinado de autobuses, de modo que todos los pasajeros sean trasladados a sus destinos mientras que el tiempo medio de viaje sea mínimo. En esta misma línea se tiene el trabajo de [11], el cual aborda el tema de optimización de la red de transporte público en términos de reducir el tiempo de viaje y proporcionar acceso a áreas que actualmente no tienen suficiente acceso a la instalación de servicio. Este trabajo utilizó el Sistema de Información Geográfica (GIS), la Optimización del Enjambre de Partículas (PSO) y el Algoritmo Genético (GA) para modelar la ubicación de las paradas de autobús en la ciudad de Amman en Jordania para encontrar el tiempo de viaje óptimo y la capacidad de servicio de las paradas, reduciendo el tiempo de viaje tanto en horas pico, como fuera de ellas.

El trabajo de [14] combina un modelo de predicción de desechos de una red neuronal artificial (ANN) con un sistema de información geográfica (GIS) orientado a la optimización de la ruta (GIS). Los resultados muestran ahorros importantes en tiempos y recorridos para los 36 escenarios analizados en Austin, Texas, EE. UU.

Respecto a solución de VRP, por último, se tiene el aporte de [15] que indica que los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) brindan una amplia gama de servicios a todos los actores involucrados en cualquier tipo de actividades de transporte. Los autores señalan que la planificación de rutas es un problema de transporte común, que puede ser extremadamente difícil cuando se busca una solución. El artículo presenta tres variantes de la metaheurística ACO para dar solución al problema e indica que la mejor variante entre los algoritmos de hormigas considerados es Max-Min Ant System: debido a su capacidad rápida de aprendizaje, su estabilidad en ejecuciones repetidas, y a que proporciona muy buenos resultados promedio.

Otro elemento de relevancia para la gestión de sistemas de transporte es el monitoreo de posicionamiento del vehículo en tiempo real, además de otras variables como velocidad, combustible, paradas, entre otros. El trabajo de [16] señala que el monitoreo en tiempo real de los medios de transporte y mercancías es necesaria si se quiere utilizar los recursos disponibles de forma sostenible. Los autores indican que el GPS es un sistema global basado en señales de radio por satélite. Permite especificar la exacta posición, velocidad

y tiempo en cualquier parte del mundo. A su vez, GPRS permite la transmisión de paquetes de datos entre el dispositivo móvil y el servidor. Estos datos no solo se refieren a la posición, velocidad y tiempo, sino que también puede incluir otra información sobre el vehículo. La ventaja de GPRS es que el usuario paga por la cantidad de bytes realmente enviados o recibidos, no el tiempo durante el cual la conexión está activa.

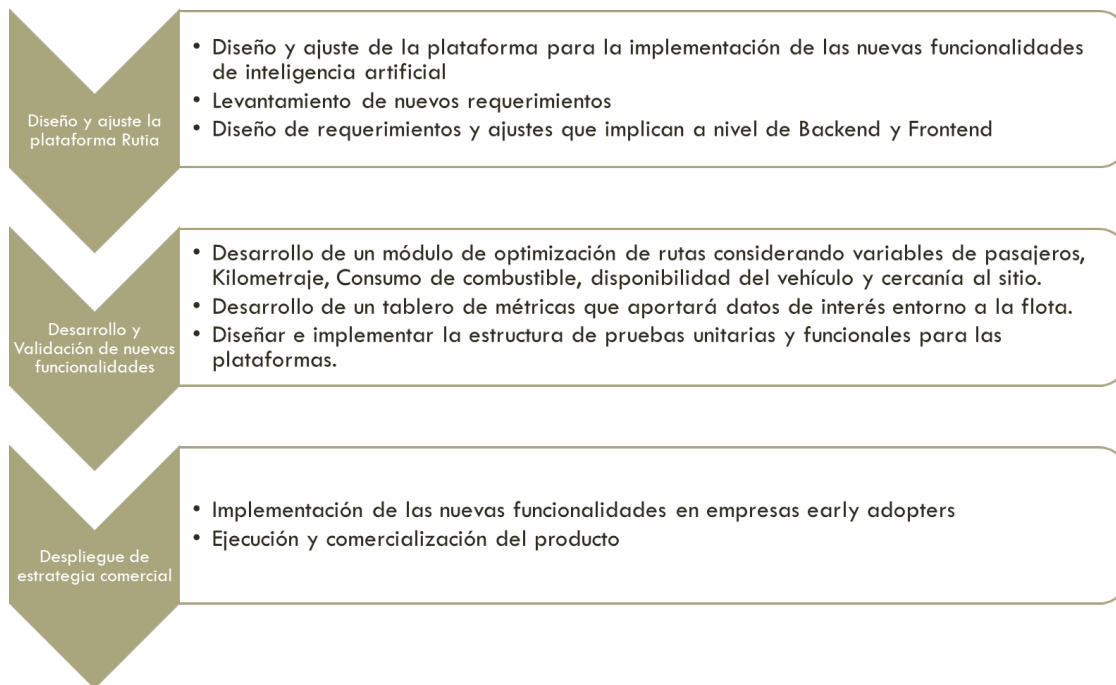
Los autores [16] señalan que el uso más obvio y común del GPS es supervisar el transporte. En este tipo de aplicación, el objeto de transporte en movimiento determina su posición utilizando un Receptor GPS. Los datos sobre la posición actual se transmiten a través de telecomunicaciones enlaces (generalmente a través de GPRS) al centro de control de tráfico, por ejemplo, a la empresa matriz. La información transferida a la base de datos se puede complementar con datos sobre los parámetros del movimiento del vehículo.

Las funciones adicionales de los sistemas basados en GPS son: Alarmas y notificaciones, Información sobre el consumo de combustible, Seguimiento de la temperatura en los medios de transporte, Sensor de puerta abierta, Comunicación directa con conductores y operadores, Control del tiempo de trabajo de los conductores, Planificación y asignación de comisiones, Análisis del estilo de conducción, proponiendo la conducción ecológica, Cooperación con otros sistemas de información (financiero y contable, flota, SFA, CRM, etc.), Informe de emisiones de CO₂, Registros de viajes en carreteras de peaje e Informar golpes y colisiones [16, 17, 18].

El trabajo de [19] señala que el surgimiento de las tecnologías relacionadas con el IoT, permiten llevar un registro y monitoreo de las acciones y variables de interés de la operación del vehículo, se describe el Sistema de Diagnóstico a Bordo (OBD), el cual permite diagnosticar las condiciones de operación a través de códigos de error (PIDS, Parameter ID) que son registrado y enviados por la computadora central del vehículo. Los autores desarrollan una plataforma Web que gestiona, rastrea y monitoriza los parámetros del vehículo asociados a la funcionalidad y desplazamiento, a través de dispositivo GPS TRACKER para IoT, módulo con interface On Board Diagnostic II y tecnologías GPS/GSM/GPRS, que permiten la recopilación y transmisión de datos en tiempo real a un servidor central para su interpretación y visualización.

Metodología

El objetivo del proyecto es desarrollar mejoras significativas y nuevas funcionalidades de la plataforma Rutia para su introducción al mercado aportando una solución a las necesidades del sector transporte especial de pasajeros apoyándose en el uso de algoritmos de inteligencia artificial para optimización de rutas y análisis de información que aporte datos de interés para toma de decisiones empresariales. Se desarrollaron tres (3) fases que se representan en la Figura 1.

Figura 1. Metodología empleada

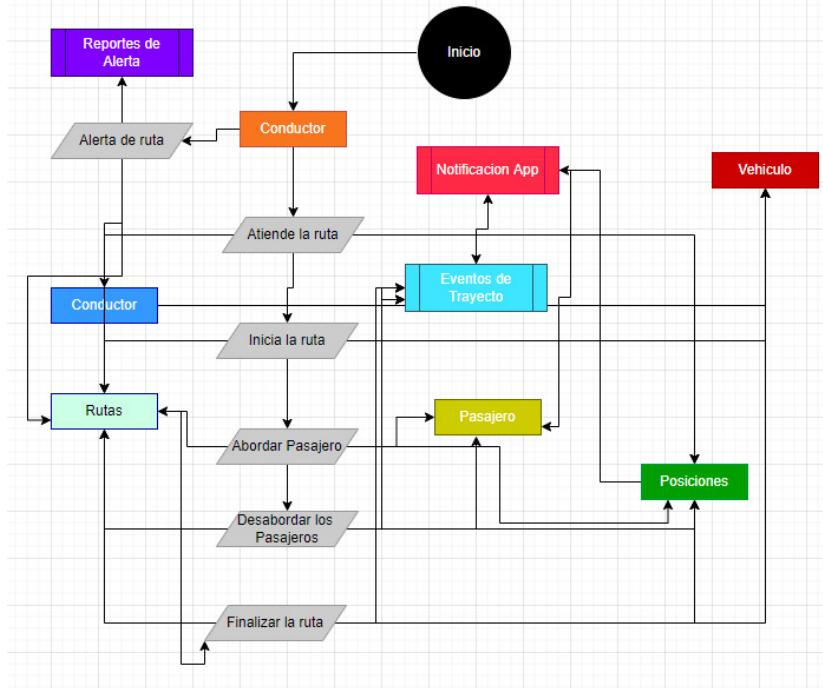
Fuente: Elaboración propia

Resultados

Rutia es la plataforma ideal para gestionar y planificar las rutas de transporte de pasajeros (transporte escolar, empresarial y turístico). La plataforma incluye elementos de inteligencia artificial y analítica de datos para conectar a los operadores de ruta con los clientes, conductores, pasajeros y otros interesados. Permite la administración de contratos, programar las rutas, imprime los soportes requeridos y recibir las solicitudes de los clientes desde una misma plataforma. A continuación los principales aspectos desarrollados.

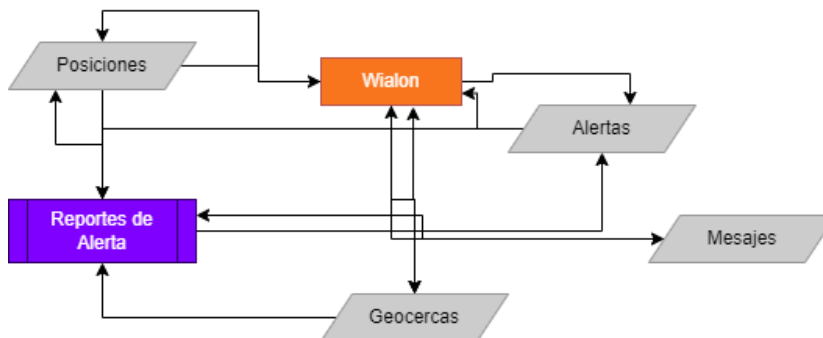
- El módulo de optimización de rutas permite identificar el camino más corto entre dos puntos considerando además la cantidad y la ubicación de todas las paradas requeridas de la ruta, así como los márgenes de tiempo para las entregas. Adicionalmente considera la cantidad de vueltas o intersecciones a lo largo de la ruta, vueltas a la izquierda (cruzando la línea del tráfico), disponibilidad de vehículos, estado del tráfico en tiempo real y el mejor acceso para una parada de la ruta. Se soporta en la integración con Wialon, una plataforma de seguimiento GPS e IoT que permite a los usuarios controlar los objetos móviles e inmóviles en más de 130 países del mundo. El algoritmo de comportamiento de ruta, permite notificar a todas las entidades relacionadas los eventos de forma sincronizada en una ruta. Ver Figuras 2 y 3.

Figura 2. Estructura del algoritmo de optimización de ruta



Fuente: Elaboración propia

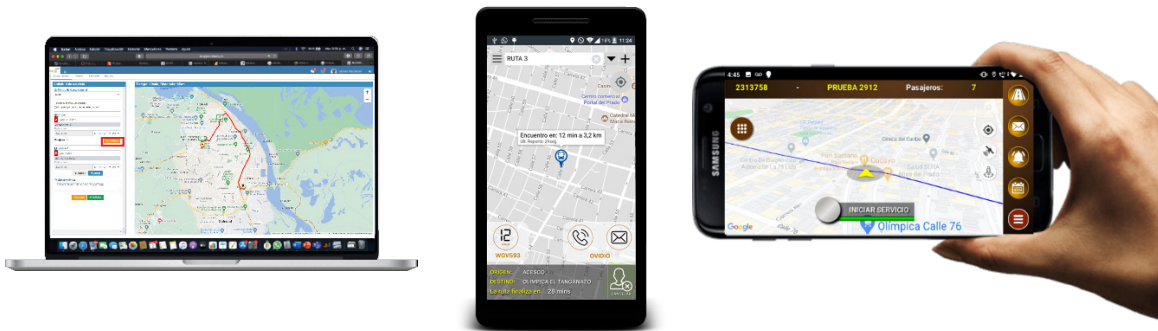
Figura 3. Integración plataforma Wialon



Fuente: Elaboración propia

- Integración de plataformas para el cliente, pasajero, conductor. Cada uno de los interesados en el desarrollo del servicio de transporte puede tener acceso al estado en tiempo real y novedades de la ruta. Ver Figura 4.

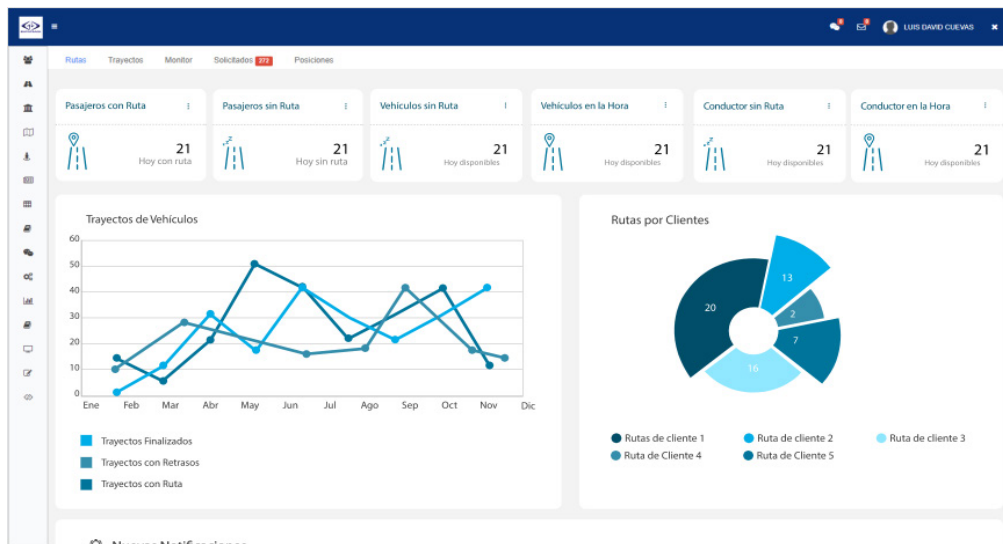
Figura 4. Visibilización a través de distintas plataformas y tipo de usuario



Fuente: Elaboración propia

- El tablero de métricas garantiza el acceso a la información generada por la plataforma y así lograr recomendaciones óptimas para los asesores, como también la integración de herramientas de GPS externos para dar una mayor precisión en las ubicaciones de los vehículos. Las principales métricas a considerar son: disponibilidad de vehículo, disponibilidad de conductor, rutas en el día, rutas finalizadas en el día anterior, pasajeros no abordados o ausente en las rutas, tiempo en iniciar la ruta (con la hora establecida a cuando se inicia) y lo mismo con finalizar. La Figura 3 presenta la estructura general del tablero.

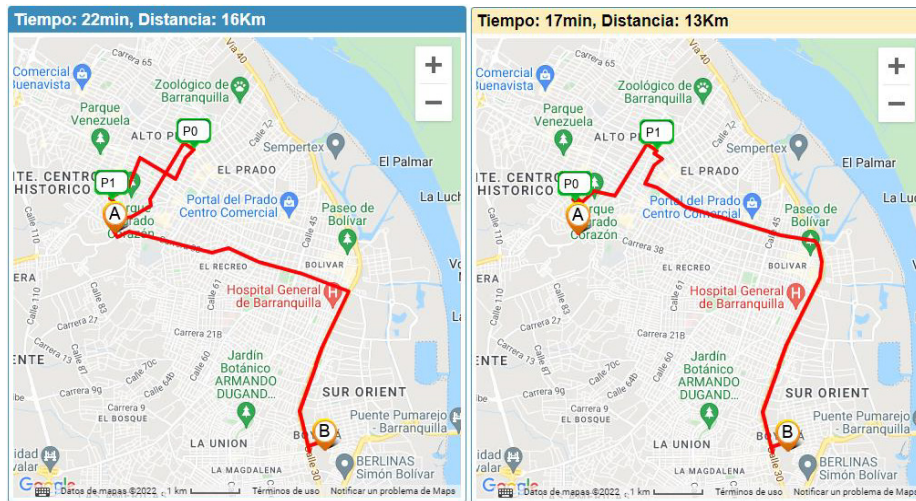
Figura 3. Tablero de métricas implementado



Fuente: Elaboración propia

- Opción de agregar pasajeros en una ruta establecida y calcular parámetros actualizados. Una vez agregados se procede a trazar la nueva ruta con los pasajeros añadidos según el orden el que se agregaron además de calcular la nueva distancia y tiempo del recorrido para el nuevo trazado. La plataforma utiliza la misma función de trazado que se utilizó al introducir el origen y el destino, pero actualiza según los últimos parámetros establecidos. En la Figura 4a se puede observar la ruta originalmente trazada con un pasajero nuevo con un tiempo de 22 minutos y un recorrido de 16 km, en la Figura 4b se presenta la misma ruta con un tiempo de 17 minutos y un recorrido de 13 km.

Figura 4a y 4b. Ruta original y ruta optimizada



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la validación de las funcionalidades de la plataforma en un grupo de cinco (5) empresas del sector transporte de la ciudad de Cartagena, Colombia. Estas empresas se dedican principalmente al transporte especial de pasajeros, siendo la modalidad más frecuente, el transporte escolar, seguido por el transporte empresarial. La legislación colombiana señala que la prestación del servicio de transporte escolar solo puede contratarse con empresas legalmente constituidas y habilitadas en la modalidad de servicio de transporte terrestre especial, según lo establecido en el Decreto único reglamentario del sector transporte (1079 de 2015).

La implementación de la plataforma en estas cinco (5) empresas mostró los resultados presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la implementación en early adopters

	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	PROM
Reducción en tiempos de ejecución de ruta (%)	12%	15%	10%	9%	16%	12%
Liberación de tiempo en programación de rutas (min/turno)	57,6	72	48	43,2	76,8	59,5
Seguimiento en tiempo real de los vehículos (Satisfacción 1-5)	5	5	5	5	5	5
Aumento de la productividad (%)	22%	24%	12%	23%	25%	21%
Reducción del costo del servicio (%)	12%	11%	10%	14%	15%	12%
Aumento de confiabilidad (Satisfacción 1-5)	5	5	3	4	5	4,4
Reducción de contratiempos viales (Satisfacción 1-5)	5	4	3	5	5	4,4

Fuente: Elaboración propia a partir de la implementación en Early Adopters

En promedio se obtuvo una disminución del 12% en el tiempo de ejecución de ruta, que es el tiempo efectivo en el cual se realiza el total del recorrido con las paradas establecidas según el plan de ruta. Este indicador se complementa con la liberación de tiempo en programación de rutas, un indicador de gestión interna de la empresa que mide el tiempo requerido para programar las rutas en un turno de ocho (8) horas, en promedio para las cinco empresas se tiene un ahorro en tiempo de cerca de 1 hora en un turno de 8 horas.

La productividad se incrementó en promedio en un 21% en las empresas que implementaron la plataforma. Este indicador se encuentra alineado con la reducción promedio del 12% del costo del servicio. Lo anterior a su vez impactó positivamente la valoración de los usuarios en lo que respecta a confiabilidad en el servicio prestado. De igual manera se presentó un alto grado de satisfacción por reducción en los contratiempos viales atribuibles a la gestión de la operación.

Se identifica en la revisión del estado del arte, que la tecnología está impactando en muchos sectores, dentro de los que se encuentra el sector transporte, implementar soluciones con tecnología de la Industria 4.0 optimiza y facilita las labores de este tipo de servicios. La plataforma Rutia es una solución con algoritmos de inteligencia artificial y análisis de datos que permiten a los usuarios administrar, gestionar, monitorea, crear, controlar, las operaciones del sector de transporte terrestre de pasajeros.

Para determinar el estado de novedad del desarrollo, se realizó un análisis de las patentes relacionadas a la temática de interés. Se identificaron 7.263 patentes en el portal Lens.org mostrando que la tecnología asociada a sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) se encuentra en fase de crecimiento. El comportamiento de las patentes indica el dominio de grandes empresas no fabricantes de vehículos, como principales dueños de estos desarrollos, destacándose empresas tales como HERA GLOBAL B.V, (EE.UU) especializada en sistemas de geolocalización, el gigante coreano en electrónica de consumo LG ELECTRONICS INC, MOBILEYE empresa subsidiaria de INTEL especializada en el desarrollo de ADAS con sede en Israel, otro gigante de electrónica de consumo SONY CORPORATION de Japón, al igual que SAMSUNG ELECTRONICS de Corea. Estas empresas son en la mayoría de los casos proveedores de estos sistemas a fabricantes y/o ensambladores de vehículos.

Dentro de los fabricantes de vehículos se destacan TOYOTA MOTOR CO LTD originaria de Japón, FORD GLOBAL TECHNOLOGIES LTD originaria de Estados Unidos, KIA MOTORS CORPORATION de Corea y HONDA MOTOR CO. LTD de Japón. Respecto a jurisdicción de las patentes, el 82% de estas fueron registradas en Estados Unidos.

Los principales sectores de aplicación de estas tecnologías identificados en las patentes analizadas se relacionan con el sector transportes, vehículos y tecnología de computadores para la lectura y reconocimiento de patrones, control de posición, rumbo, altitud o actitud de vehículos terrestres, acuáticos, aéreos o espaciales y sistemas de control de tráfico para vehículos de carretera, disposición de señales de tráfico o señales de tráfico y sistemas anticolidión.

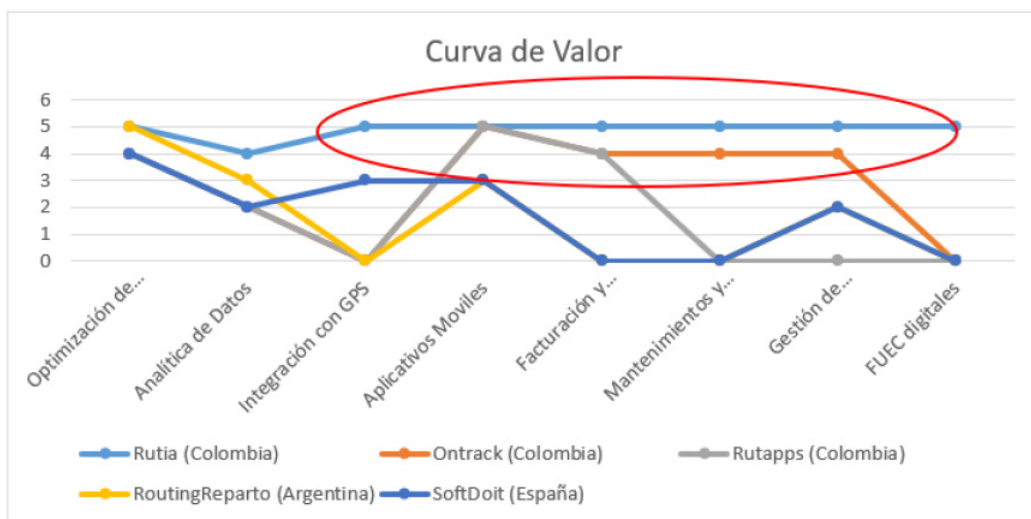
Respecto al comportamiento del mercado global para este tipo de tecnología, los informes de [20] indican que crecerá a una tasa compuesta anual estimada de 16,22% a 2026. Algunos de los factores que impulsaran este crecimiento son se relacionan con el incremento en las regulaciones sobre los requisitos de los sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS), tales como los sistemas de asistencia en estacionamiento en países como China, India, Estados Unidos. Los requerimientos del mercado han llevado a que gran parte de las características ADAS que sólo se encontraban en automóviles premium, también se ofrezcan en otros segmentos de vehículos por lo que se estima que el mercado de ADAS para vehículo crezca de manera significativa.

Adicionalmente se realiza la identificación de competidores apoyada en la evaluación del mercado, donde se desarrolló un proceso de Benchmarking realizado por la empresa Datagas y Desk Research para determinar plataformas y/o soluciones alineadas al propósito de Rutia. Se identificaron competidores directos a nivel internacional y nacional.

- Ontrack (Colombia) - <https://ontrack.global/>
- Rutapps (Colombia) - <https://rutapps.co/>
- RoutingReparto (Argentina) - <https://www.routingreparto.com/>
- SoftDoit (España) - <https://www.softwaredoit.es/>
- Para realizar esta comparación se evalúan aspectos primordiales para el mercado de este tipo de productos:
- Optimización de Rutas: Uso de algoritmos para indicar la mejor ruta de acuerdo con variables como cantidad de pasajeros, ubicaciones, entre otros.
- Análítica de Datos: Entrega de reportes con información de interés para la cadena productiva del sector transporte Integración con GPS: Contar con una conexión a dispositivos GPS para capturar datos de interés relacionados con la ubicación y/o otras acciones del vehículo.
- Aplicativos Móviles: Contar con múltiples aplicativos móviles que permitan la participación de todos los usuarios involucrados: Operadores, Gerentes, Pasajeros, Conductores.
- Facturación y Liquidación: Permite generar extractos de clientes en cuanto finalice el servicio.
- Mantenimientos y Documentos Digitales: Permite digitalizar documentos y controlar mantenimientos de los vehículos.
- Gestión de contratos y clientes: Tener información consolidada de clientes y contratos.
- FUEC digitales: Generación digital de Formato Único de Extracto de Contrato. Documento legal necesario para la prestación del servicio de transporte especial de pasajeros.

Las principales diferencias de Rutia plataforma propuesta por Datagas S.A.S se representa en la Figura 5 y se señala con el círculo rojo, identificando 4 puntos novedoso del proyecto con respecto a las otras propuestas del mercado.

Figura 6. Curva de valor de Rutia frente a productos similares en el entorno



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La implementación de soluciones tecnológicas orientadas al mejoramiento del sector transporte tiene un alto nivel de relevancia y genera valor en diferentes aspectos de este importante sector de la economía, puntualmente se evidencian impactos en:

- Valor en el cierre de la brecha digital del sector transporte especial de pasajeros. La implementación de metodologías de innovación permite la mejora continua y el desarrollo de nuevos productos y servicios soportados en la tecnología. Esto se complementa con la introducción de nuevos modelos de negocio que buscan apoyar y educar a los actores para afianzar la digitalización del sector.
- Valor agregado del producto/servicio después del mejoramiento. Uno de los principales aspectos y que destacan los early adopters es la reducción de costos asociados a la gestión pre-operativa y operativa, al usar un algoritmo para seleccionar la mejor ruta, se genera eficiencia en el recorrido disminuyendo el consumo de combustible, tiempo de operación del motor y kilómetros recorridos, influyendo en una reducción de costo sobre la ruta. Adicionalmente se genera un alto grado de satisfacción en el usuario ya que la plataforma permite tener un contacto directo y en tiempo real con los comentarios y necesidades del cliente, haciendo uso de herramientas tecnológicas generando en el usuario la sensación de un alto estatus en la prestación del servicio. Además de optimizar las rutas, realizar un seguimiento constante al estado de las rutas disminuye el impacto en pérdida de servicios, permitiendo a los operarios reacciones y cambios rápidos.
- Valor en el mejoramiento de los niveles de competitividad de la empresa. Para la empresa desarrolladora de la solución, se amplía el portafolio de productos y servicios pudiendo llegar a un mayor volumen de clientes en el contexto nacional e internacional. Adicionalmente se tiene que a partir de la generación de rutas optimizadas y con la opción de recalcular de acuerdo a los cambios en los parámetros de la operación, se disminuye el tiempo que requiere la gestión de una ruta por parte del equipo de operaciones y conductores, redireccionando los esfuerzos a la mejora de la calidad del servicio y otras labores, mejorando la imagen corporativa de la empresa.

Referencias Bibliográficas

1. K. Priya Dharshini, D. Gopalakrishnan, C. K. Shankar, and R. Ramya, "A Survey on IoT Applications in Smart Cities," *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, Department of EEE, Sri Ramakrishna Polytechnic College, Coimbatore, India, pp. 179–204, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-66607-1_9.
2. F. Zhao, O. I. Fashola, T. I. Olarewaju, and I. Onwumere, "Smart city research: A holistic and state-of-the-art literature review," *Cities*, vol. 119, 2021, DOI: 10.1016/j.cities.2021.103406.
3. G. Galiano, G. Forestieri, and L. Moretti, "Urban sprawl and mobility," 2021, vol. 204, pp. 245–255. DOI: 10.2495/UT210201.
4. K. Ortiz and M. Quintero, "Responsabilidad social empresarial en el transporte terrestre de pasajeros: un caso de estudio en la empresa expreso brasil S.A.," Universidad de la Costa, 2020.
5. ANDI, "Cifras del sector Transporte de Pasajeros 2019 vs 2020, afectación Covid-19," Bogota, Colombia, 2020. [Online]. Available: <http://www.andi.com.co/Home/Camara/27-transporte-de-pasajeros>.
6. J. R. Montoya-Torres, J. López Franco, S. Nieto Isaza, H. Felizzola Jiménez, and N. Herazo-Padilla, "A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 79, pp. 115–129, 2015. DOI: 10.1016/j.cie.2014.10.029.

7. F. E. Zulvia, R. J. Kuo, and D. Y. Nugroho, "A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products," *J. Clean. Prod.*, vol. 242, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118428.
8. A. M. Anaya-Arenas, C. Prodhon, J. Renaud, and A. Ruiz, "An iterated local search for the biomedical sample transportation problem with multiple and interdependent pickups," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 72, no. 2, pp. 367–382, 2021. DOI: 10.1080/01605682.2019.1657369.
9. J. C. Paz, M. Granada-Echeverri, and J. W. Escobar, "The multi-depot electric vehicle location routing problem with time windows," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 9, no. 1, pp. 123–136, 2018. DOI: 10.5267/j.ijiec.2017.4.001.
10. R. Ewert, K. Martins-Turner, C. Thaller, and K. Nagel, "Using a Route-based and Vehicle Type specific Range Constraint for Improving Vehicle Routing Problems with Electric Vehicles," in *23rd EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2020*, 2021, vol. 52, pp. 517–524. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.01.061.
11. N. Shatnawi, A. A. Al-Omari, and H. Al-Qudah, "Optimization of Bus Stops Locations Using GIS Techniques and Artificial Intelligence," *Procedia Manuf.*, vol. 44, pp. 52–59, 2020. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.204.
12. S. Tkatek, O. Bahti, Y. Lmzouari, and J. Abouchabaka, "Artificial Intelligence for Improving the Optimization of NP-Hard Problems: A Review," *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 5, 2020.
13. A. Dimitriu and I. Harmati, "Artificial intelligence based bus routing in urban areas," *2020 23rd IEEE Int. Symp. Meas. Control Robot. ISMCR 2020*, 2020. DOI: 10.1109/ISMCR51255.2020.9263763.
14. H. L. Vu, D. Bolingbroke, K. T. W. Ng, and B. Fallah, "Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts," *Waste Manag.*, vol. 88, pp. 118–130, 2019. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.037.
15. G. C. Crişan, L. B. Iantovics, and E. Nechita, "Computational intelligence for solving difficult transportation problems," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 159, pp. 172–181, 2019. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.172.
16. M. Hajdul and A. Kawa, "Global Logistics Tracking and Tracing in Fleet Management," in *Intelligent Information and Database Systems*, 2015, pp. 191–199.
17. L. L. Röpke and M. O. Binelo, "Development of an artificial intelligence system (AI) based on patterns recognition for the analysis of vehicular routes," *Intel. Artif.*, vol. 23, no. 65, pp. 67–85, 2020. DOI: 10.4114/intartif.vol23iss65pp67-85.
18. L. Heng, D. B. Work, and G. X. Gao, "GPS Signal Authentication from Cooperative Peers," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 4, pp. 1794–1805, 2015. DOI: 10.1109/TITS.2014.2372000.
19. I. I. Villavicencio-Jacobo, J. I. Alberto Verduzco-Ramírez, N. García-Díaz III, P. I. Elizabeth Figueroa-Millán, J. V. Esteban González Valladares, and A. V. Ortiz-Figueroa, "Plataforma IoT para el rastreo y monitoreo remoto de parámetros de vehículos," vol. 6, pp. 95–113, 2020, [Online]. Available: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexhttps://orcid.org/0000-0001-7562-7578>.
20. Mordor Intelligence, "ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021 - 2026)," Hyderabad, India, 2021. [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/advanced-driver-assistance-systems-market>.