



UNIVERSIDAD DEL AZUAY  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
AUTOMOTRIZ

Demanda energética, emisión de CO<sub>2</sub> y tiempos de distribución con triciclos eléctricos en la operación de Farmasol Azogues.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autor(es)

Kevin Paul Solorzano Pezo  
Carlos Humberto Zapata Taizha

Director

Ing. Mateo Coello Salcedo MSc.

CUENCA – ECUADOR  
2024

## **DEDICATORIA**

A lo largo de nuestra carrera universitaria, enfrentamos numerosos desafíos que contribuyeron a la formación de nuestro carácter y al fortalecimiento de nuestros valores. En esos momentos, el apoyo incondicional de las personas cercanas fue fundamental. Por ello, dedicamos este trabajo a quienes siempre estuvieron presentes, brindando su apoyo de manera desinteresada y buscando contribuir a la materialización de nuestro objetivo final. Agradecemos a todas esas personas que, sin saberlo, ayudaron a enfocar y culminar nuestra carrera de estudios, sentando las bases para un futuro mejor y más próspero. En particular, dedicamos este logro a nuestros padres y parejas, cuyo amor, paciencia y constante apoyo nos han guiado y motivado en cada paso de este camino.

Kevin Paul Solorzano Pezo– Carlos Humberto Zapata Taizha

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres, cuyo sacrificio y apoyo incondicional fueron fundamentales para convertir nuestro sueño de obtener este título universitario en una realidad. Nos llena de orgullo poder compartir con ellos esta satisfacción. Reconocemos el esfuerzo y la dedicación que han demostrado al formarnos como personas y transmitirnos valores que nos han guiado en este camino. Su generosidad y amor han sido invaluableles y les estamos eternamente agradecidos.

También queremos agradecer a la Universidad del Azuay por brindarnos las herramientas y la educación necesaria para alcanzar nuestras metas. Sus enseñanzas, tanto académicas como humanas, han sido fundamentales para nuestro crecimiento personal y profesional. Apreciamos profundamente el impacto positivo que ha tenido en nuestras vidas y nos sentimos afortunados de haber sido parte de esta comunidad educativa.

# **Demanda energética, emisión de CO<sub>2</sub> y tiempos de distribución con triciclos eléctricos en la operación de Farmasol Azogues.**

## **Resumen**

La presente investigación tuvo como objetivo definir la demanda energética, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los tiempos de viaje en la distribución de medicamentos en FARMASOL Azogues, mediante la incorporación de triciclos eléctricos en la operación. Para alcanzar este objetivo, se desarrolló una metodología experimental que incluyó un piloto con un enfoque cuantitativo. En dicho piloto, se implementaron dos triciclos eléctricos para simular las entregas durante el primer trimestre de 2024. Esta investigación se contextualiza en el marco del proyecto de descarbonización de la logística de entrega de mercancías en Latinoamérica, financiado por la institución Solutions Plus, con el propósito de comparar los indicadores operacionales y ambientales de los vehículos actualmente utilizados de la empresa FARMASOL EP, con los triciclos eléctricos. Entre los resultados obtenidos, se destacan los siguientes indicadores: consumo energético de  $0.131 \pm 0.025$  kWh/km, un factor de emisiones de  $0.012 \pm 0.002$  kgCO<sub>2</sub>eq/km y un tiempo promedio de viaje  $46.75 \pm 3,38$  min.

**Palabras clave** - *Micro movilidad eléctrica, Demanda energética , Movilidad sostenible, CO<sub>2</sub>, Logística cero emisiones.*

Ing. Mateo Coello Salcedo Msc.

Director del trabajo de titulación

Ing. Robert Rockwood Iglesias MSc.

Coordinador de escuela

Kevin Paul Solorzano Pezo – Carlos Humberto Zapata Taizha  
Autores

# **Energy demand, CO<sub>2</sub> emissions, and distribution times with electric tricycles in the operation of Farmasol Azogues.**

The present research aimed to define the energy demand, CO<sub>2</sub> emissions, and travel times in the distribution of medications at FARMASOL Azogues by incorporating electric tricycles into the operation. To achieve this objective, an experimental methodology was developed, which included a pilot study with a quantitative approach. In this pilot study, two electric tricycles were implemented to simulate deliveries during the first quarter of 2024. This research is contextualized within the framework of the project for decarbonizing delivery logistics in Latin America, funded by the institution Solutions Plus, with the purpose of comparing the operational and environmental indicators of the vehicles currently used by the company FARMASOL EP with those of the electric tricycles. Among the results obtained, the following indicators stand out: energy consumption of  $0.131 \pm 0.025$  kWh/km, an emissions factor of  $0.012 \pm 0.002$  kgCO<sub>2</sub>eq/km, and an average travel time of  $46.75 \pm 3.38$  minutes.

**Keywords** - *Electric micromobility, Energy demand, Sustainable mobility, CO<sub>2</sub>, Zero-emission logistics.*

Ing. Mateo Coello Salcedo Msc.

Director del trabajo de titulación

Ing. Robert Rockwood Iglesias MSc.

Coordinador de escuela

Kevin Paul Solorzano Pezo – Carlos Humberto Zapata Taizha  
Autores



# Índice

<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>I</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>II</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>IV</i>
<i>ÍNDICE</i> .....	<i>V</i>
<i>I. INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>1</i>
<i>II. MATERIALES Y MÉTODOS</i> .....	<i>3</i>
<i>A. Caracterización de operaciones en Azogues</i> .....	<i>3</i>
<i>B. Levantamiento de indicadores</i> .....	<i>4</i>
<i>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i> .....	<i>5</i>
<i>A. Caracterización de operaciones en Azogues</i> .....	<i>5</i>
<i>B. Indicadores</i> .....	<i>6</i>
<i>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> .....	<i>7</i>

# Demanda energética, emisión de CO<sub>2</sub> y tiempos de distribución con triciclos eléctricos en la operación de Farmasol Azogues.

Kevin Paul Solorzano Pezo , Carlos Humberto Zapata Taizha, Mateo Fernando Coello Salcedo, Daniel Guillermo Cordero Moreno.

*Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador*

kevin14@es.uazuay.edu.ec

carlostaizha@outlook.com

mfcoello@uazuay.edu.ec

dacorderom@uazuay.edu.ec

**Resumen**— La presente investigación tuvo como objetivo definir la demanda energética, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los tiempos de viaje en la distribución de medicamentos en FARMASOL Azogues, mediante la incorporación de triciclos eléctricos en la operación. Para alcanzar este objetivo, se desarrolló una metodología experimental que incluyó un piloto con un enfoque cuantitativo. En dicho piloto, se implementaron dos triciclos eléctricos para simular las entregas durante el primer trimestre de 2024. Esta investigación se contextualiza en el marco del proyecto de descarbonización de la logística de entrega de mercancías en Latinoamérica, financiado por la institución Solutions Plus, con el propósito de comparar los indicadores operacionales y ambientales de los vehículos actualmente utilizados de la empresa FARMASOL EP, con los triciclos eléctricos. Entre los resultados obtenidos, se destacan los siguientes indicadores: consumo energético de  $0.131 \pm 0.025$  kWh/km, un factor de emisiones de  $0.012 \pm 0.002$  kg CO<sub>2</sub>eq/km y un tiempo promedio de viaje  $46.75 \pm 3,38$  min.

**Palabras clave:** *Micro movilidad eléctrica, Demanda energética , Movilidad sostenible, emisiones de CO<sub>2</sub>, Logística cero emisiones.*

**Abstract**— The present research aimed to define the energy demand, CO<sub>2</sub> emissions, and travel times in the distribution of medications at FARMASOL Azogues by incorporating electric tricycles into the operation. To achieve this objective, an experimental methodology was developed, which included a pilot study with a quantitative approach. In this pilot study, two electric tricycles were implemented to simulate deliveries during the first quarter of 2024. This research is contextualized within the framework of the project for decarbonizing delivery logistics in Latin America, funded by the institution Solutions Plus, with the purpose of comparing the operational and environmental indicators of the vehicles currently used by the company FARMASOL EP with those of the electric tricycles. Among the results obtained, the following indicators stand out: energy consumption of  $0.131 \pm 0.025$  kWh/km, an emissions factor of  $0.012 \pm 0.002$  kgCO<sub>2</sub>eq/km, and an average travel time of  $46.75 \pm 3,38$  minutes.

**Key words:** Electric micro mobility, Energy demand, Sustainable mobility, CO<sub>2</sub>, Zero-emission logistics.

## I. INTRODUCCIÓN

La logística cero emisiones se ha convertido en un componente crucial en la lucha contra el cambio climático y la reducción de la huella de carbono en las operaciones comerciales. Con el aumento de la conciencia ambiental y las regulaciones más estrictas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, las empresas están adoptando prácticas sostenibles que minimicen su impacto ambiental (Bukhari et al., 2022)l. La implementación de soluciones

logísticas que no dependan de combustibles fósiles y que utilicen energías renovables es esencial para alcanzar los objetivos de sostenibilidad globales. Este enfoque no solo beneficia al medio ambiente, sino que también mejora la eficiencia operativa y reduce los costos a largo plazo, creando un modelo de negocio más resiliente y competitivo. Por ejemplo, la Organización Internacional de Normalización (ISO) que es una entidad no gubernamental independiente y la mayor desarrolladora de estándares internacionales ha destacado la necesidad de reducir las emisiones de carbono en el sector logístico para cumplir con los objetivos de sostenibilidad (Gould, 2023).

En este contexto, la micromovilidad eléctrica emerge como una estrategia innovadora y efectiva dentro de la logística cero emisiones. Un estudio destaca cómo la implementación de vehículos eléctricos ligeros para la última milla mejora significativamente la eficiencia y reduce las emisiones (Ilin et al., 2023). Además, se ha evaluado el potencial de las bicicletas de carga y la electrificación en la entrega de última milla, demostrando beneficios claros en la reducción de la huella de carbono y la mejora de la sostenibilidad urbana (Llorca & Moeckel, 2021). La utilización de vehículos eléctricos ligeros, como bicicletas y scooters, para la distribución de última milla no solo disminuye las emisiones de carbono, sino que también optimiza el tráfico urbano y reduce la congestión. Estas soluciones son especialmente útiles en áreas metropolitanas densamente pobladas, donde los vehículos tradicionales pueden enfrentar desafíos significativos. Un estudio reciente ha evaluado el potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la cadena logística de productos perecederos utilizando estas tecnologías (Rühlin & Scherrer, 2023). La integración de la micromovilidad eléctrica en las operaciones logísticas representa un paso adelante hacia la creación de ciudades más limpias y sostenibles, mientras se asegura una entrega rápida y eficiente de productos a los consumidores.

Solutions Plus, financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea, ha llevado a cabo proyectos relacionados con la implementación de micro movilidad eléctrica para logística de última milla alrededor del mundo, desarrollando piloto que demuestren la pertinencia de esta tecnología en la cadena de suministro de las operaciones comerciales. Dentro de los pilotos que se han ejecutado en los últimos años se encuentra uno en la ciudad de Quito - Ecuador, donde se recibió financiamiento para trabajar sobre tres ejes; 1) la implementación de micro movilidad eléctrica a través de bicicletas de carga para estibadores en los mercados de la ciudad y distribución de alimentos a los restaurantes en el centro histórico, 2) el financiamiento para el desarrollo tecnológico de vehículos eléctricos livianos de carga para operaciones donde se necesite una mayor capacidad de carga y 3) financiamiento para proyectos de urbanismo táctico y descarbonización del centro histórico de la ciudad de Quito, todo esto para fomentar la movilidad sostenible y lograr una descarbonización de las operaciones (SOLUTIONS PLUS, 2022).

A partir del piloto implementado en la ciudad de Quito, como siguientes pasos de Solution Plus se propuso escalar los pilotos a otras ciudades del país, incorporando la micromovilidad eléctrica en las operaciones de entrega de mercancías. En este contexto, surgió la oportunidad de colaboración con la empresa FARMASOL EP, y el consorcio conformado por la Universidad del Azuay, la Cooperación Técnica Alemana (GIZ), Cities Forum y Kradac. FARMASOL EP es una empresa pública ecuatoriana dedicada a la producción y distribución de productos farmacéuticos

y suministros médicos. Actualmente, la empresa cuenta con una logística de distribución de medicinas que opera con vehículos que utilizan motores de combustión interna (MCI). La propuesta de Solution Plus consistió en reemplazar algunos de estos viajes mediante la incorporación de dos triciclos eléctricos de carga, los cuales se pueden apreciar en la Figura 1. El objetivo de esta iniciativa es cuantificar los indicadores de operación, ambientales, económicos y de percepción, y así validar las diferencias en comparación con el uso de vehículos con MCI.



Fig. 1 Triciclos Eléctricos  
Fuente: Autores

La micromovilidad ha emergido como una solución innovadora para la logística urbana de cero emisiones, abordando la creciente necesidad de reducir la contaminación y la congestión en las ciudades. En varias metrópolis globales, la implementación de vehículos eléctricos ligeros como bicicletas eléctricas, scooters y vehículos de carga pequeños ha transformado el panorama del transporte de última milla. En París, por ejemplo, la compañía de logística La Poste ha introducido triciclos eléctricos para la entrega de paquetes, lo que ha permitido no solo disminuir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también mejorar la eficiencia en áreas de alta densidad donde los vehículos tradicionales encuentran dificultades para maniobrar (Robichet et al., 2022).

En cuanto a la demanda energética, la introducción de movilidad eléctrica, incluida la micro-movilidad eléctrica, en la operación de entrega de mercadería puede conducir a reducciones significativas. (Papaioannou et al., 2023) indica que esta transición puede reducir la demanda energética entre un 10% y un 14% en comparación con los vehículos de combustión interna, manteniendo la misma carga

Se han observado reducciones significativas en las emisiones de CO<sub>2</sub>eq al emplear micro movilidad eléctrica para la logística de entrega de mercadería (Melo & Baptista, 2017) señalan una reducción aproximada del 70% en las emisiones durante todo el ciclo de vida. Además, estudios como el de (Siragusa et al., 2022) han documentado reducciones en la fase de uso entre el 17% y el 50%.

Según investigaciones realizadas en varias ciudades europeas por (Silva et al., 2023), el empleo de bicicletas de carga eléctrica puede reducir el tiempo de entrega hasta en un 30%. Esto se debe a su capacidad para evitar el tráfico urbano y acceder a áreas restringidas de forma más eficiente que las furgonetas tradicionales.

Por su parte en Copenhague, una de las ciudades más amigables con las bicicletas en el mundo, el uso de bicicletas de carga eléctrica para la entrega de mercancías ha demostrado ser altamente efectivo. Empresas han adoptado este enfoque, logrando

una reducción considerable en el tiempo de entrega y en los costos operativos, además de contribuir a un entorno urbano más limpio y saludable. La infraestructura ciclista avanzada de Copenhague facilita el uso de estos vehículos, lo que se traduce en una menor huella de carbono y una mejora en la calidad del aire local. Por ejemplo, un estudio sobre el potencial de las bicicletas de carga y la electrificación para la entrega de última milla ha demostrado beneficios claros en la reducción de la huella de carbono y la mejora de la sostenibilidad urbana (Llorca & Moeckel, 2021).

Otro ejemplo destacado es el de Nueva York, donde Amazon ha implementado el uso de bicicletas de carga eléctricas para realizar entregas en Manhattan. Esta iniciativa no solo contribuye a reducir la congestión del tráfico en una de las ciudades más transitadas del mundo, sino que también ha disminuido las emisiones relacionadas con la logística de última milla. Según estudios recientes, esta estrategia ha llevado a una reducción significativa en las emisiones de carbono en comparación con las entregas realizadas por vehículos convencionales (Conway, 2012)

Los resultados obtenidos con la implementación de micromovilidad para la logística de cero emisiones en estas y otras ciudades indican un claro beneficio tanto ambiental como operativo. Las experiencias globales muestran que, además de las reducciones en emisiones y mejoras en la eficiencia, estas iniciativas también fomentan un entorno urbano más sostenible y habitable. La clave del éxito radica en la integración de infraestructuras adecuadas, políticas de apoyo y la colaboración entre sectores públicos y privados para escalar y replicar estas soluciones a nivel mundial.

Farmasol ha establecido su presencia desde 2010, sirviendo a una base sólida de 156,000 beneficiarios mensuales a través de sus 46 farmacias operativas. Actualmente, la distribución de productos se lleva a cabo utilizando dos vehículos con motores de combustión interna (MCI) que operan de lunes a sábado.

La ciudad de Azogues, Ecuador, es la capital de la provincia de Cañar y se encuentra ubicada al suroeste de la ciudad de Cuenca, a una altitud de 2,518 metros sobre el nivel del mar. Según el censo de 2022, Azogues cuenta con aproximadamente 36,000 (INEC, s. f.). En Azogues, Farmasol opera tres farmacias ubicadas en el casco urbano, las cuales son abastecidas mediante el camión de la empresa. La configuración reticular de sus calles angostas y sus pendientes pronunciadas, consecuencia de su ubicación en la cordillera de los Andes, complica la circulación vehicular, Figura 2. Esto produce retrasos en los tiempos de entrega de mercancías, mayor consumo de combustibles fósiles y aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Andrade & Bustamante, 2021). En este contexto, el piloto de Solution Plus cobra sentido al intentar implementar la micromovilidad eléctrica en las farmacias de la ciudad de Azogues. Actualmente, no se han realizado estudios que validen la pertinencia de esta iniciativa y que midan los indicadores propuestos por el programa. Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar la demanda energética, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los tiempos de recorrido de la logística de distribución de medicinas de FARMASOL EP utilizando dos triciclos eléctricos. Con estos resultados, se podrá establecer un parámetro de comparación con los factores del modo de transporte actualmente utilizado.



Fig. 2 Entrega de medicina en Farmasol Azogues.

Fuente: Autores

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se abordarán dos puntos, el primero relacionado con la metodología que se utilizó para levantar información general de la operación actual de entrega de medicinas en las farmacias de FARMASOL EP Azogues; y en segundo, lugar los pasos que se seguirán para obtener los indicadores ambientales y operacionales al simular la introducción de los dos triciclos eléctricos a la operación.

### A. Caracterización de operaciones en Azogues

Se llevó a cabo un proceso de mapeo y análisis de operaciones mediante el uso de tecnología GPS para registrar las coordenadas de las tres farmacias, esto permitirá calcular distancias y trazar rutas eficientes. Además, se realizó un análisis de las operaciones y recorridos realizados por el actual modo de entrega, que incluyó la revisión de documentos proporcionados por la empresa y visitas a la institución, con el objetivo de evaluar la frecuencia y los métodos de entrega.

Con la operación actual ya caracterizada se procedió a planificar el piloto con los dos triciclos eléctricos, que están equipados con un GPS cada uno, sensores de cadencia y velocidad de la aplicación Wahoo Fitness, diseñada por una compañía especializada en tecnología de seguimiento deportivo, como se muestra en la Figura 3. Cada triciclo estaba dotado de un microcontrolador, así como de sus sensores. Se designaron dos conductoras mujeres para llevar a cabo la conducción de los triciclos y la operación de los equipos de telemetría ya que el programa adicionalmente busca tener un enfoque de aproximación de género e inclusión. La implementación de estos equipos telemáticos en los triciclos asegura la captura precisa y completa de los datos durante los desplazamientos, permitiendo un análisis objetivo de los mismos.



Fig. 3 Microcomputador.Wahoo

Fuente: Autores

El dispositivo cuenta con dimensiones de 7,75 cm x 4,72 cm x 2,13 cm y una pantalla a color con 64 colores. Pesa 68,38 gramos y la batería de ion-litio ofrece una autonomía de 15 horas. El dispositivo tiene un GPS integrado con frecuencia de registro de 1 segundo compatible con varios sistemas. Es resistente al agua con clasificación IPX7 y cuenta con conectividad ANT+, BLUETOOTH y Wi-Fi. Es compatible con dispositivos iPhone y Android y ofrece funciones como pantalla personalizable, alertas de radar, seguimiento en directo, así como descargas y cargas automáticas de datos (Wahoo, 2023).

### B. Levantamiento de indicadores

Para el levantamiento de indicadores se generó una ruta establecida en función de los pesos de mercadería que se debe entregar en cada una de las farmacias, para ello se simuló esa carga y se registraron los recorridos. Solutions Plus plantea el levantamiento de los siguientes indicadores operacionales Tabla 1 y ambientales Tabla 2.

TABLA I  
Indicadores Operacionales

Indicador	Descripción	Método y frecuencia de levantamiento	Procesamiento
kg de mercancías entregadas por km recorrido	Promedio de kilogramos de carga transportados por kilómetro recorrido	Para la obtención de este indicador, se cuantificó el peso de la carga utilizando una balanza de alta precisión. Posteriormente, este valor se prorrateó en función del número de kilómetros recorridos, los cuales fueron registrados mediante el sistema GPS	Obtención de promedio mediante hojas de cálculo y los resultados del indicador se mostrarán en unidades de kg/km.

Indicador	Descripción	Método y frecuencia de levantamiento	Procesamiento
Distancia Recorrida por hora	Kilómetros recorridos por vehículo por hora de operación	Se levantó la información de manera diaria con el uso de un GPS de la app wahoo.	Indicar que se descarga en formato .Fit se transforma a CSV mediante python y se saca un promedio y el resultado se lo obtiene en km/h
Incidentes	Detalle de incidentes durante el transcurso del viaje	Autores, inspección visual en cada viaje	Indicador que se obtuvo mediante el monitoreo de los autores.

TABLA 2  
Indicadores Ambientales

Indicador	Descripción	Método y frecuencia de levantamiento	Procesamiento
Emissiones por kg transportado	Emissiones de CO2 generadas por cantidad de peso transportado	Se levantó la información de manera diaria con el uso de vatímetro, balanza y datos de GPS.	Indicador que se obtuvo mediante la multiplicación del factor de emisiones por el número total de km recorridos y este valor se dividió para el número total de kg transportados.
Emissiones por cada entrega	Emissiones de CO2 generadas por cada una de las entregas	Se levantó la información de manera diaria con el uso de vatímetro y datos de GPS.	Indicador que se obtuvo mediante el uso de vatímetro y factor de emisiones se saca un promedio y el resultado se lo obtiene en kg CO2-eq / entrega

Indicador	Descripción	Método y frecuencia de levantamiento	Procesamiento
Consumo energético por km	Energía consumida por el vehículo eléctrico por km recorrido	Se levantó la información de manera diaria con el uso del vatímetro Figura 4, y datos de GPS.	Indicador que se obtuvo mediante el uso de vatímetro y GPS, se sacó un promedio y el resultado se lo obtiene en kWh / km
Emissiones de kgCO <sub>2</sub> -eq por km recorrido	Kg de CO <sub>2</sub> -eq generados por cada km recorrido	Se levantó la información de manera diaria con el uso del vatímetro Figura 4, y datos de GPS	El consumo energético se multiplica por el factor de emisiones del sistema nacional interconectado

Esta fórmula permite calcular de manera precisa la cantidad de emisiones generadas, tomando en cuenta los datos de consumo energético y utilizando el factor de emisión establecido.

Factor de emisión=DE\*FE

Donde:

DE= demanda energética [kWh/km]

FE= factor de emisión de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono. [kg CO<sub>2</sub>/kWh].

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> del sistema nacional interconectado de Ecuador es de 0.092 kg CO<sub>2</sub>/kWh para el cálculo de huella de carbono (Ministerio de Energía y Minas, 2023).



Fig. 4 Vatímetro  
Fuente: Autores

Después de cada operación de los triciclos, se utilizará el vatímetro de la Figura 4 para monitorear el consumo de energía mientras se carga. Esto nos permitirá registrar los datos necesarios para analizar y gestionar eficientemente el rendimiento energético

de los triciclos eléctricos.

Durante la simulación, se registran manualmente los datos de carga en kWh utilizando el vatímetro. Estos datos se relacionarán con el número de kilómetros recorridos para calcular la eficiencia energética del triciclo eléctrico y estimar su autonomía bajo condiciones específicas de operación

El vatímetro cuenta con un voltaje de funcionamiento de 120 V CA, con un amplio rango de voltaje que va desde 110V hasta 130V. Su corriente máxima de funcionamiento es de 15A. La pantalla del dispositivo muestra la frecuencia de operación de 60Hz. Además, dispone de una pantalla de potencia que varía desde 0W hasta 1800W, y muestra la corriente actual en un rango de 0.0A a 15.0A.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre el 23 y el 28 de marzo de 2024, se realizó un piloto de triciclos eléctricos en Azogues, Ecuador, en colaboración con FARMASOL Azogues. Debido a disposiciones de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria del Ecuador (ARCSA), no se pudieron homologar los triciclos por cuestiones de aislamiento térmico y control de humedad, ya que este proceso puede tomar más de 180 días, por lo que se usaron cargas equivalentes a medicamentos en lugar de los mismos.

Cada triciclo realizó entre 5 y 7 viajes diarios, con una duración aproximada de 15 minutos, recorriendo distancias de 1.5 a 2 km entre tres farmacias FARMASOL, completando 56 viajes en total. Se evaluó la capacidad de los triciclos para transportar hasta 100 kg, verificando su desempeño en pendientes de hasta 20%. Cargas superiores a 100 kg resultaron en un esfuerzo físico significativo para las conductoras en dichas pendientes.

#### A. Caracterización de operaciones en Azogues

Las ubicaciones de las farmacias de FARMASOL EP en Azogues fueron obtenidas y se presentan a continuación en la Tabla 3.

TABLA 3  
Coordenadas Farnasol

Farnasol	Latitud	Longitud
Farnasol 1	-2.738924	-78.846477
Farnasol 2	-2.737300	-78.851933
Farnasol 3	-2.741053	-78.847442

La distribución de medicamentos se llevó a cabo desde Farnasol 1 hasta Farnasol 2, finalizando en Farnasol 3, lo que resulta en una distancia total recorrida de 2.53 kilómetros, véase Figura 5.



Fig. 5 Ubicación de las Farmacias en Azogues

Las entregas se programaron para los lunes, miércoles y viernes a las 11 de la mañana, con un promedio de peso de 65 kg por día. Asimismo, se realizó pedidos entre farmacias para abastecer medicamentos faltantes, de aquellas farmacias que disponen del medicamento.

### B. Indicadores

A continuación se presentan los resultados de los indicadores operacionales establecidos por Solution Plus, véase Tabla 4.

TABLA 4  
Resultados Indicador operacional

Indicador	Resultado	Unidad
kg de mercancías entregadas por km recorrido	25.4	kg/km
Distancia Recorrida por hora	10.16	km/h
Incidentes	-El último día de la simulación, el triciclo eléctrico sufrió un pinchazo en la llanta trasera derecha. -se detectó un desajuste en la suspensión, probablemente causado por el desgaste acumulado y las constantes vibraciones durante la operación diaria.	

Durante la simulación, la cual abarcó un total de 11 horas al sumar el tiempo de viaje diario de ambos triciclos, se observó que al final de cada jornada operativa los vehículos indican un nivel de batería del 50% en sus pantallas. No obstante, esta lectura resultó ser poco

fiable, ya que el porcentaje de batería mostrado fluctuaba mientras los triciclos estaban en funcionamiento.

El análisis de los tiempos de viaje para la distribución de medicinas en FARMASOL Azogues reveló que el tiempo promedio de viaje es de  $15,54 \pm 1,13$  minutos. Este promedio se ha calculado a partir de los viajes, cuyos tiempos individuales oscilan entre 11.17 minutos y 24.55 minutos. La media obtenida ofrece una visión integral del rendimiento del sistema de distribución, subrayando la eficiencia y rapidez del proceso al incorporar triciclos eléctricos en la operación.

De manera correspondiente se presentan los resultados obtenidos para los indicadores ambientales que se calcularon, los recorridos y consumo energético utilizando los datos recopilados. Esto permitió obtener una visión clara del rendimiento y la eficiencia energética de los triciclos eléctricos en operaciones diarias, véase Tabla 5.

TABLA 5  
Resultado indicador ambiental

Indicador	Resultado	Unidad
Emisiones por kg transportado	0.0043	kg CO <sub>2</sub> -eq / kg
Emisiones por cada entrega	0.26	kg CO <sub>2</sub> -eq / entrega
Consumo energético por km	0.13	kWh / km
Emisiones de kgCO <sub>2</sub> -eq por km recorrido	0.012	kgCO <sub>2</sub> -eq/km

El rendimiento energético obtenido para los triciclos eléctricos utilizados en este estudio es de  $0,066 \pm 0,025$  kWh/km. Al comparar este valor con los datos reportados en la literatura científica, como se evidencia en la Tabla 6. Los valores de eficiencia energética varían dependiendo de las condiciones operativas, el tipo de vehículo y las características del entorno urbano, lo que sugiere que el rendimiento de  $0,131 \pm 0,025$  kWh/km obtenido en este estudio es coherente con las variaciones documentadas en estudios similares de la Tabla 6. Esto indica que los triciclos eléctricos están operando dentro de los parámetros esperados para aplicaciones de logística urbana.

TABLA 6  
Demanda energética literatura

Estudio	Demanda Energética [kWh/km]	Lugar del Estudio	Descripción del Estudio
(Jaller, 2017) Evaluating the Use of Zero-Emission Vehicles in Last Mile Deliveries	0.15	California, EE.UU.	Evaluación del uso de vehículos de cero emisiones en la distribución de última milla, analizando la viabilidad y eficiencia de triciclos eléctricos en rutas urbanas.
(Oliveira et al., 2017) Environmental and Economic Performance of Electric Tricycles	0.12	Sao Paulo, Brasil	Análisis del rendimiento ambiental y económico de triciclos eléctricos en la logística urbana, considerando su impacto en la reducción de emisiones y consumo energético.
(Bosona, 2020) Micromobility in Urban Freight: Electric Tricycles	0.1	Milán, Italia	Estudio de la micromovilidad urbana enfocada en triciclos eléctricos, evaluando su eficiencia energética y su papel en la distribución de mercancías en áreas densamente pobladas.
(Liao & Correia, 2022) Electric Vehicles for Last-Mile Delivery in Urban Areas	0.13	Beijing, China	Evaluación del uso de vehículos eléctricos para la entrega de última milla en áreas urbanas, analizando la eficiencia y el impacto de triciclos eléctricos en el transporte urbano.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha establecido con éxito un protocolo para la recopilación de datos de los indicadores definidos por Solution Plus. Esto ha permitido generar información previamente inexistente, que servirá como referencia para futuros estudios y como herramienta para la toma de decisiones al comparar con la operación actual del camión.

Se determinó que los triciclos eléctricos deben cargarse al finalizar cada recorrido diario. Las rutas fueron diseñadas teniendo en cuenta la ubicación de las tres farmacias. Se estableció que los triciclos pueden transportar hasta 100 kg de mercancía, con una autonomía de 26 kilómetros por carga de batería.

Se determinó que la demanda energética es de  $0.131 \pm 0.025$  kWh/km, con un factor de emisiones de  $0.012 \pm 0.002$  kg CO<sub>2</sub>eq/km y un tiempo promedio de viaje de  $46.75 \pm 3.38$  minutos generados por el uso de los triciclos eléctricos.

Un aspecto adicional relevante es que los triciclos eléctricos demostraron ser capaces de afrontar las diversas pendientes de la ciudad en los recorridos establecidos. Sin embargo, debido a sus dimensiones comparables a las de un vehículo liviano pequeño, no contribuyeron significativamente a mejorar la fluidez del tráfico ni la disponibilidad de estacionamiento.

Es fundamental llevar a cabo el piloto en operaciones reales de entrega de mercadería, no limitándose únicamente a simulaciones con cargas de mercancías establecidas. Esto permitirá evaluar de manera más precisa el rendimiento y la efectividad del sistema en condiciones reales de operación.

Se recomienda expandir los pilotos a diferentes ciudades para comparar y validar los resultados obtenidos en las simulaciones. Esto ayudará a identificar variaciones y adaptar las estrategias a distintas condiciones urbanas, mejorando así la robustez y aplicabilidad de las conclusiones del estudio.

En lugar de utilizar triciclos de carga, se sugiere optar por bicicletas eléctricas de carga. Aunque tienen una capacidad de carga menor, estas bicicletas pueden desplazarse con mayor facilidad a través del tráfico vehicular y encontrar estacionamiento más rápidamente. Esto podría mejorar la eficiencia de las entregas y reducir los tiempos de viaje.

#### REFERENCIAS

- Andrade, M. P. L., & Bustamante, V. V. C. (2021). Indicadores para medir la movilidad sostenible en espacios urbanos de la sierra ecuatoriana. Caso de estudio el cantón Azogues. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), Article 1.2. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1738>
- Bosona, T. (2020). Urban freight last mile logistics—Challenges and opportunities to improve sustainability: A literature review. *Sustainability*, 12(21), 8769.
- Bukhari, J., Somanagoudar, A. G., Hou, L., Herrera, O., & Merida, W.

- (2022). *Zero-Emission Delivery for Logistics and Transportation: Challenges, Research Issues, and Opportunities*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2205.15606>
- Conway, A. (2012). *URBAN MICRO-CONSOLIDATION AND LAST MILE GOODS DELIVERY BY 1 FREIGHT-TRICYCLE IN MANHATTAN: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES*.
- Gould, R. (2023, enero 20). *Towards a net-zero logistics sector*. ISO. <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/news/2023/01/a-net-zero-logistics-sector.color-C12.html>
- Ilin, V., Veličković, M., Garunović, N., & Simić, D. (2023). Last-mile delivery with electric vehicles, unmanned aerial vehicles, and e-scooters and e-bikes. *Put i Saobraćaj*, 69(4), 37-42. <https://doi.org/10.31075/PIS.69.04.05>
- INEC. (s. f.). *Boletín Segunda Entrega Trabajo.knit*. Recuperado 12 de junio de 2024, de [https://inec.censoecuador.gob.ec/public/Boletin\\_Nacional.html](https://inec.censoecuador.gob.ec/public/Boletin_Nacional.html)
- Jaller, M. (2017). Evaluating the Use of Zero-Emission Vehicles in Last Mile Deliveries. *University of California, Institute of Transportation Studies*. <https://doi.org/10.7922/G2JM27TW>
- Liao, F., & Correia, G. (2022). Electric carsharing and micromobility: A literature review on their usage pattern, demand, and potential impacts. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(3), 269-286. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1861394>
- Llorca, C., & Moeckel, R. (2021). Assessment of the potential of cargo bikes and electrification for last-mile parcel delivery by means of simulation of urban freight flows. *European Transport Research Review*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00491-5>
- Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, 9(2), 30. <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0246-8>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023, agosto 3). *FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR - INFORME 2021 | ARIAE*. <https://www.ariae.org/servicio-documental/factor-de-emision-de-co2-del-sistema-nacional-interconectado-de-ecuador-informe>
- Oliveira, C. M. de, Albergaria De Mello Bandeira, R., Vasconcelos Goes, G., Schmitz Gonçalves, D. N., & D'Agosto, M. D. A. (2017). Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport: A systematic literature review. *Sustainability*, 9(8), 1324.
- Papaioannou, E., Iliopoulou, C., & Kepaptsoglou, K. (2023). Last-Mile Logistics Network Design under E-Cargo Bikes. *Future Transportation*, 3(2), 403-416. <https://doi.org/10.3390/futuretransp3020024>
- Robichet, A., Nierat, P., & Combes, F. (2022). First and Last Miles by Cargo Bikes: Ecological Commitment or Economically Feasible? The Case of a Parcel Service Company in Paris. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2676(9), 269-278. <https://doi.org/10.1177/03611981221086632>
- Rühlin, V., & Scherrer, M. (2023). Towards net zero emissions logistics cold chains – An early-stage assessment of GHG reduction potentials in the fruits and vegetables industry. *Transportation Research Procedia*, 72, 1105-1112. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.565>
- Silva, V., Amaral, A., & Fontes, T. (2023). Sustainable Urban Last-Mile Logistics: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15(3), 2285. <https://doi.org/10.3390/su15032285>
- Siragusa, C., Tumino, A., Mangiaracina, R., & Perego, A. (2022). Electric vehicles performing last-mile delivery in B2C e-commerce: An economic and environmental assessment. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(1), 22-33. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1847367>
- SOLUTIONS PLUS. (2022). *Demonstration City: Quito*. SOLUTIONSplus. <https://www.solutionsplus.eu/quito>
- Wahoo. (2023). *Ordenador para bicicleta ELEMNT BOLT V2 GPS | GPS para bicicleta*. Wahoo Fitness. <https://es-eu.wahoofitness.com/devices/bike-computers/elemnt-bolt-buy>