



Proyecto de Investigación Capstone “Optimización de la red de distribución del
transporte terrestre en Colombia”

Trabajo de Grado

Daniela Tole Silva

Isabella Ávila Ávila

María Paula León Lozano

Bogotá D.C

2024



Proyecto de Investigación Capstone “Optimización de la red de distribución del
transporte terrestre en Colombia”

Trabajo de Grado

Daniela Tole Silva

Isabella Ávila Ávila

María Paula León Lozano

Carlos Alberto Franco Franco Ph.D

Administración en Logística y Producción

Bogotá D.C

2024

Declaración de originalidad y autonomía

Declaro bajo la gravedad del juramento, que he escrito el documento de título Proyecto de Investigación “Optimización de la red de distribución del transporte terrestre en Colombia”, en la opción de grado de Capstone y que, por lo tanto, su contenido es original.

Declaro que he indicado clara y precisamente todas las fuentes directas e indirectas de información y que este trabajo no ha sido entregado a ninguna otra institución con fines de calificación o publicación.

Isabella Ávila Ávila

María Paula León Lozano

Daniela Tole Silva

Declaración de exoneración de responsabilidad

Declaro que la responsabilidad intelectual del presente trabajo es exclusivamente de su autor. La Universidad del Rosario no se hace responsable de contenidos, opiniones o ideologías expresadas total o parcialmente en él.

Isabella Ávila Ávila

María Paula León Lozano

Daniela Tole Silva

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| Resumen..... | 9 |
| Palabras clave..... | 9 |
| Abstract..... | 10 |
| Key Words | 10 |
| 1. Introducción..... | 11 |
| 2. Objetivos..... | 13 |
| 3. Acerca de CCL..... | 13 |
| 4. Descripción del problema | 14 |
| 5. Antecedentes..... | 15 |
| 6. Metodología..... | 18 |
| 7. Resultados obtenidos | 26 |
| 8. Conclusiones..... | 28 |
| 9. Bibliografía..... | 29 |

Tabla de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Campos de información proporcionados por CCL | 26 |
| Ilustración 2 Primera Prueba: Cantidad de marcadores permitidos | 27 |
| Ilustración 3 Personalización de los marcadores | 27 |

Glosario

Abastecimiento: comprende la adquisición de materia prima y todas las actividades necesarias para que una empresa opere correctamente.

Automatización: uso de herramientas tecnológicas para automatizar procesos.

Cadena de suministro: sistema que se genera desde que el cliente realiza un pedido hasta que se le entrega.

Carrocería: es el habitáculo donde se coloca la carga en un camión.

Cambaja: son remolques con una plataforma plana y abierta. Son versátiles y adecuados para transportar una amplia variedad de cargas, desde materiales de construcción hasta maquinaria pesada.

Doble troque: es un tractocamión de dos ejes.

Estacas: vehículo de carga que tiene anclado unos mástiles (puede ser de madera o metal) en su plataforma de carga.

Flete: costo asociado al transporte de mercancías por vía terrestre o marítima.

Furgón: es un vehículo más pequeño que el camión, cuya cabina está integrada en la carrocería.

HTML: es un código que se utiliza para estructurar y desplegar una página web y sus contenidos

Java: lenguaje de programación para la creación de plataformas web.

Librería: es un libro de programación que contiene archivos de códigos y de operadores que permite el desarrollo de software

Nodos logísticos: sitios físicos importantes en los que se almacena y se distribuye el producto en sus distintas fases de producción

Operador Logístico: empresas especializadas en gestionar parte o la totalidad de los procesos incluidos en la cadena de suministro de otras empresas.

Patinete: tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes.

Planchón: vehículo comercial versátil, ya que puede utilizarse para trasladar toda maquinaria, vehículos y algunos materiales pesados sin complicaciones.

Red de logística: se trata de una red de distribución logística que permite que el producto se distribuya y llegue al consumidor en tiempo y forma acorde a las necesidades del propio producto y demanda del consumidor.

RNDC: Registro Nacional de Despachos de Carga por Carretera.

Turbo: vehículos un poco más grandes que una camioneta que pueden transportar hasta 4,5 toneladas.

Stakeholder: partes interesadas que se ven afectadas por las actividades de una empresa.

Resumen

Los operadores logísticos tienen como principal objetivo gestionar procesos de almacenamiento y distribución eficientes. No obstante, en los últimos años las variables que afectan la eficiencia de sus procesos se vuelven más difíciles de controlar, algunas de ellas son: los elevados costos de combustible, la escasa mano de obra, factores medioambientales y la ausencia de herramientas de información para tomar mejores decisiones. Debido a lo anterior, varias empresas han recurrido a softwares especializados para optimizar sus redes de distribución teniendo en cuenta las restricciones de las variables mencionadas.

La Compañía Colombiana de Logística es un operador logístico con más de 20 años de experiencia en el mercado colombiano, en este sentido ofrece un mejor servicio de distribución a sus clientes optimizando sus rutas. En el presente trabajo, se plantean las bases para la solución deseada: Optimizar y automatizar la red de distribución por medio de un mapa interactivo que permita observar los vehículos y las rutas que mejor se acoplen a las necesidades de cada cliente. Estas bases consisten en la evaluación de la herramienta utilizada para tal fin y el desarrollo de código base por medio del lenguaje de programación Java. Los resultados obtenidos, serán primordiales para el desarrollo del código que llevará la Universidad del Rosario en el segundo semestre del 2024 y tendrá como objetivo la reducción de costos y la mejora de la eficiencia en las operaciones de la empresa.

Palabras clave

Automatización, red de distribución, cadena de suministro, optimización, transporte, carga.

Abstract

The main objective of logistics operators is to manage efficient warehousing and distribution processes. However, in recent years the variables that affect the efficiency of their processes have become more difficult to control, such as fuel costs, scarce labor, environmental factors and the absence of information tools to make better decisions. Due to the above, several companies have resorted to specialized software to optimize their distribution networks taking into account the restrictions of the mentioned variables.

Compañía Colombiana de Logística is a logistics operator with more than 20 years of experience in the Colombian market, in this sense, it offers a better distribution service to its customers by optimizing its routes. In this work, the basis for the desired solution is proposed: Optimize and automate the distribution network through an interactive map that allows to observe the vehicles and routes that best fit the needs of each customer. These bases consist of the evaluation of the tool used for this purpose and the development of a code base using the Java programming language. The results obtained will be essential for the development of the code that Universidad del Rosario will carry out in the second semester of 2024 and will be aimed at reducing costs and improving efficiency in the company's operations.

Key Words

Automation, distribution network, supply chain, optimization, transportation, freight.

1. Introducción

En el contexto de la logística, la eficiencia y optimización son elementos importantes para el éxito de cualquier operador. En Colombia, un país con geografía variada y desafíos únicos de transporte la necesidad de alternativas innovadoras es más desafiante que nunca. En la actualidad, muchos operadores logísticos se enfrentan al desafío de administrar su flota de vehículos de forma eficiente, asegurando la disponibilidad de vehículos libres en tiempo real para atender las demandas de servicio en diversas ciudades.

En la búsqueda de soluciones innovadoras, varios investigadores a nivel mundial han propuesto soluciones novedosas basadas en la programación de algoritmos que permita optimizar costos, tiempos y rutas. Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Yong, et al (2018), quienes argumentan que la optimización de las redes de distribución debe ser colaborativa en dos formas: vertical como horizontalmente para obtener una toma de decisiones más completa. Este argumento se basa principalmente en que “las empresas logísticas suelen formar parte de cadenas de suministro de varios eslabones y están obligadas a tratar con instalaciones de fases anteriores”.

Otros estudios, además de proponer una eficiencia en cuanto a costos, también exponen soluciones para contribuir al bienestar de los trabajadores; por un lado, Cherry y Adalakun (2012) en su artículo demuestran la correcta planeación de la red no es solamente una necesidad de las empresas para optimizar costos, sino también de los mismos prestadores del servicio, es decir, conductores quienes empíricamente han venido buscando soluciones para enfrentar múltiples retos como, por ejemplo: la congestión vial. Por otro lado, Hojda et al (2018) exponen

que una mejor optimización de las rutas contribuye a la reducción de la fatiga y por ende de los accidentes en carreteras.

No obstante, hay soluciones aún más avanzadas que permiten alcanzar ambos objetivos: bienestar y reducción de estos. Esto se logra al establecer un sistema avanzado de vigilancia y gestión de flotas que posibilita la visualización en tiempo real de la ubicación y el estado de los vehículos. Esta solución no solo optimizaría la asignación de recursos si no también aumentaría significativamente los tiempos de respuesta y satisfacción del cliente. Según un estudio reciente, la combinación de simulación y optimización es clave para diseñar servicios de transporte fiables, especialmente en áreas urbanas congestionadas. Este enfoque permite planificar tiempos de viaje y definir márgenes de seguridad que aseguren la puntualidad y eficiencia del servicio (Kötschau et al., 2021).

El presente trabajo busca explorar las posibilidades en soluciones de automatización, mediante un mapa interactivo que permita a CCL visualizar en tiempo real la ubicación y el estado de sus vehículos, optimizando la asignación de recursos y mejorando la eficiencia general de sus operaciones. La herramienta seleccionada para la construcción del mapa es Leaflet, una biblioteca de JavaScript de código abierto ampliamente utilizada para la creación de mapas web, que funciona mediante un código HTML el cual proporciona la estructura básica de la página, mientras que Leaflet se encarga de la visualización del mapa, la gestión de los marcadores y la interactividad con el usuario.

El desarrollo de un plan de automatización será el siguiente paso en este proyecto. Esta etapa permitirá automatizar la actualización de la información en el mapa interactivo, reflejando

en tiempo real la posición de los vehículos. La evaluación de los resultados obtenidos en esta fase inicial establecerá las pautas para el desarrollo posterior del sistema. Esto incluirá la integración de información adicional y la definición de las características necesarias para cumplir con los requerimientos específicos que den solución a la problemática.

2. Objetivos

1. Implementación de Sistemas de Visualización en Tiempo Real.
2. Optimizar y automatizar la red de distribución de la Compañía Colombiana de Logística (CCL) mediante un mapa interactivo que permita observar los vehículos y las rutas que mejor se acoplen a las necesidades de cada cliente.
3. Evaluación y Personalización de Herramientas Tecnológicas.

3. Acerca de CCL

La corporación Colombiana de Logística (CCL) fundada en 1999 es un líder en el sector logístico colombiano, ofrece soluciones integrales que abarcan la cadena de suministro. Transporte terrestre, almacenamiento, distribución y servicios especializados.

La empresa se distingue por su compromiso con la excelencia, innovación y satisfacción del cliente. Su amplia red de clientes incluye empresas de diversos sectores a las que les brinda servicios de alta calidad adaptadas en sus necesidades específicas, gestionando proyectos logísticos complejos con flexibilidad y eficacia. La empresa también se dedica a prácticas sostenibles para reducir su huella ambiental y participa en iniciativas de responsabilidad social que benefician a las comunidades locales. Con su enfoque en la mejora continua y su sólida infraestructura tecnológica, CCL se ha consolidado como un actor clave en la logística de Colombia, capaz de responder a las demandas dinámicas del mercado.

4. Descripción del problema

Los operadores logísticos tienen la responsabilidad de gestionar procesos de transporte, almacenamiento y distribución de manera costo-eficiencia, un desafío que se ha vuelto cada vez más complejo debido a diversas variables externas. Entre los factores que afectan la eficiencia de estos procesos se encuentran los costos fluctuantes de combustible, la escasez de mano de obra calificada, los cambios medioambientales y, significativamente, la falta de herramientas de información que permitan tomar decisiones informadas. Estos obstáculos han obligado a las empresas a buscar soluciones innovadoras y tecnológicas para optimizar sus operaciones logísticas.

En este contexto, la Compañía Colombiana de Logística (CCL), con más de 20 años de experiencia en el mercado, enfrenta el desafío de mejorar su servicio de distribución. La empresa

reconoce la necesidad de optimizar y automatizar su red de distribución para mantenerse competitiva. Actualmente, CCL carece de un sistema avanzado que permita la visualización en tiempo real de su flota de vehículos, lo que limita su capacidad para asignar recursos de manera eficiente y responder rápidamente a las demandas de sus clientes. La implementación de un mapa interactivo que muestre la ubicación y el estado de los vehículos en tiempo real es esencial para superar estas limitaciones. Este sistema permitiría a CCL no solo optimizar la asignación de recursos, sino también mejorar significativamente los tiempos de respuesta y la satisfacción del cliente, reduciendo costos operativos y aumentando la eficiencia general de sus operaciones.

5. Antecedentes

Se consideraron empresas que han implementado estrategias y tecnologías para optimizar y automatizar redes de distribución a través de mapas interactivos, comenzando por: Descartes Systems Group utiliza tecnología de seguimiento GPS y sistemas de gestión de flotas para rastrear la ubicación en tiempo real de los vehículos de sus clientes. Sus soluciones de optimización de rutas emplean algoritmos avanzados que consideran múltiples variables, como la ubicación de los clientes, la disponibilidad de vehículos y las restricciones de tiempo y capacidad, para calcular las rutas más eficientes. Los clientes pueden acceder a mapas interactivos que muestran la ubicación en tiempo real de sus vehículos y las rutas planificadas, lo que les permite supervisar y gestionar sus operaciones de distribución de manera efectiva.

Route4Me también utiliza algoritmos de optimización de rutas, teniendo en cuenta factores como la distancia, el tiempo de viaje, las restricciones de capacidad y las preferencias

del cliente para calcular rutas eficientes. La plataforma de Route4Me se integra con sistemas de seguimiento GPS, permitiendo a los clientes rastrear la ubicación en tiempo real de sus vehículos y conductores. A través de la plataforma, los clientes pueden visualizar sus rutas planificadas y la ubicación de sus vehículos en mapas interactivos, lo que facilita la toma de decisiones informadas y ajustes operativos según sea necesario.

Oracle ofrece soluciones de gestión de cadena de suministro que incluyen herramientas para la planificación y optimización de rutas, así como para el seguimiento de vehículos. Sus soluciones de optimización de rutas utilizan algoritmos avanzados que consideran múltiples factores, como la ubicación de los clientes, la capacidad de los vehículos y las condiciones del tráfico, para calcular rutas eficientes.

Trimble proporciona soluciones de gestión de flotas que incluyen herramientas para la planificación de rutas, el seguimiento de vehículos y la gestión de conductores. Utiliza tecnología GPS y sistemas de seguimiento en tiempo real para rastrear la ubicación de los vehículos de sus clientes y proporcionar actualizaciones precisas sobre su estado y progreso. A través de las soluciones de Trimble, los clientes pueden acceder a mapas interactivos que muestran la ubicación en tiempo real de sus vehículos y las rutas planificadas, lo que les permite supervisar y optimizar sus operaciones de distribución de manera efectiva.

Las empresas que ofrecen soluciones de optimización de rutas y seguimiento de vehículos usan algoritmos avanzados para calcular las rutas más eficientes y actualizar en tiempo real la ubicación de los vehículos. Algunos de los algoritmos comúnmente utilizados incluyen:

- **Algoritmos genéticos:** Estos algoritmos están inspirados en el proceso de evolución natural y se utilizan para encontrar soluciones óptimas en problemas de optimización combinatoria, como la planificación de rutas. Los algoritmos genéticos generan una

población inicial de soluciones, que luego se someten a operadores genéticos como cruce y mutación para producir nuevas soluciones. Este proceso se repite iterativamente hasta que se encuentra una solución aceptable.

- **Algoritmos de colonia de hormigas (Ant Colony Optimization, ACO):** Estos algoritmos están basados en el comportamiento de las colonias de hormigas y se utilizan para resolver problemas de optimización combinatoria, como el problema del viajante de comercio (TSP, por sus siglas en inglés). Los algoritmos de ACO se basan en la idea de que las hormigas depositan feromonas en las rutas que recorren, y otras hormigas tienden a seguir las rutas con una mayor concentración de feromonas. Este proceso de retroalimentación positiva ayuda a encontrar rutas óptimas a través de un proceso iterativo.
- **Algoritmos de búsqueda heurística:** Estos algoritmos utilizan reglas o estrategias específicas para explorar el espacio de búsqueda y encontrar soluciones aproximadas a problemas de optimización. Por ejemplo, el algoritmo de búsqueda voraz (greedy) elige en cada paso la opción que parece ser la mejor en ese momento, sin considerar el impacto a largo plazo. Aunque estos algoritmos no garantizan encontrar la mejor solución global, a menudo son eficientes y pueden proporcionar soluciones aceptables en un tiempo razonable.

6. Metodología

En las reuniones iniciales con CCL, se planteó el problema principal y la metodología de trabajo, la cual consistiría en encuentros semanales o bimensuales de manera remota donde se mostrarían los avances a la compañía y se decidiría si estos se ajustaban a sus requerimientos.

Esto son:

- Alta personalización: marcadores ilimitados, y que se diferencian de acuerdo con cada tipo de flota.
- Automatización: observar la información de la ubicación y la ruta de cada vehículo en tiempo real. La fuente será un GPS al cual estarán suscritos los conductores,

Como se mencionó anteriormente, la primera parte del proyecto consistió en la evaluación de la herramienta seleccionada, Leaflet, “una librería de JavaScript *open source* ampliamente utilizada para la publicación de mapas en la web” (García, 2017). Se realizaron dos pruebas, la primera para medir la capacidad del mapa y otra para determinar qué tan personalizable podría ser.

A continuación, se describe cada parte del código y se señala en qué partes se pueden encontrar las pruebas realizadas:

```
<!DOCTYPE html>
```

Esta línea de código indica que el documento es HTML5.

```
<html lang="es">
```

Define el comienzo del documento HTML y especifica que el idioma del contenido es español.

```
<head>
```

Aquí se incluyen metadatos, enlaces a hojas de estilo y scripts.

```
<meta charset="UTF-8">
```

```
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
```

Esta parte indica que el ancho del contenido de la página debe coincidir con el ancho del dispositivo y también se establece la escala inicial de la página al 100%. Esto significa que la página se mostrará inicialmente a un nivel de zoom estándar.

```
<title>Mapa de Colombia con 100 Marcadores</title>
```

Define el título del mapa.

```
<link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet/dist/leaflet.css" />
```

```
<style>
```

```
  #map { /* Estilo para el contenedor del mapa */
```

```
    height: 600px;
```

```
  }
```

Se define un estilo CSS para el contenedor del mapa (#map) con una altura de 600px.

```
</style>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

Se añade el cuerpo del HTML que se mostrará en la web.

```
<div id="map"></div>
```

Crea un contenedor con el ID "map" donde se mostrará el mapa.

```
<script src="https://unpkg.com/leaflet/dist/leaflet.js"></script>
```

Enlaza el script de Leaflet para crear el mapa interactivo.

```
<script>
```

```
var locations = [  
    [4.6097, -74.0817], [6.2442, -75.5812], [10.9685, -74.7813], [3.4206, -76.5222], [7.1173, -  
73.1235],  
    [1.2136, -77.2811], [4.3276, -74.3655], [5.0709, -75.5138], [5.5401, -73.3692], [5.2012, -  
74.2179],  
    [10.4572, -73.2526], [8.5892, -76.6199], [7.0751, -73.1260], [6.4374, -75.1870], [11.2404, -  
74.1990],  
    [6.3373, -75.5579], [7.8841, -76.6338], [5.0687, -75.5174], [4.9160, -75.3324], [3.3951, -  
76.5407],  
    [3.4360, -76.5400], [4.9139, -75.3356], [3.8210, -76.3980], [4.2913, -74.2021], [8.4333, -  
76.2333],  
    [10.9583, -74.8000], [10.7833, -74.6000], [3.4755, -76.4912], [2.9273, -75.2819], [5.4915, -  
73.4860],  
    [9.3033, -75.3963], [4.5709, -74.2973], [6.5370, -71.6614], [9.2426, -75.8260], [9.3097, -  
75.3958],  
    [3.5380, -76.3054], [3.8643, -77.0544], [5.9315, -75.4828], [5.7160, -75.3149], [4.8681, -  
75.6218],  
    [4.9540, -75.5701], [9.2417, -75.8283], [7.0836, -76.6117], [7.1140, -77.0308], [5.3633, -  
74.8074],  
    [7.8342, -76.6517], [5.1946, -75.8744], [7.8886, -76.6323], [7.9109, -76.6207], [3.4534, -  
76.5402],
```

[5.7580, -75.8967], [9.9805, -74.2561], [4.5650, -74.4167], [7.3900, -72.6539], [7.8251, -76.6981],

[10.3919, -75.4819], [3.4546, -76.5353], [10.4817, -73.2366], [5.7583, -74.8110], [3.8573, -77.0700],

[10.6317, -73.8333], [7.0731, -73.0840], [4.5959, -74.0724], [5.5333, -73.3667], [7.5703, -76.6247],

[6.2462, -75.5736], [9.2750, -75.3833], [5.1448, -74.8860], [4.3141, -74.3559], [4.5407, -74.7873],

[7.6827, -76.0102], [4.7324, -74.2352], [5.3333, -74.0833], [7.7620, -76.6445], [3.5244, -76.3003],

[4.7774, -75.6246], [6.1718, -75.6448], [4.7182, -74.0345], [6.2975, -75.5484], [8.3034, -76.2906],

[4.9276, -75.6992], [10.7479, -74.8986], [10.4508, -75.2775], [7.8010, -76.6578], [5.5254, -73.3714],

[7.0769, -73.1392], [3.8357, -77.0343], [7.7947, -76.6560], [3.7849, -77.3532], [5.2106, -75.8945],

[3.8556, -77.0552], [6.3069, -75.5569], [10.2639, -74.5827], [6.3422, -75.5650], [10.6482, -73.5971],

[4.7110, -74.0721], [3.8724, -77.0520], [7.1140, -77.0308], [10.6780, -74.9510], [4.7097, -74.0722],

[3.8715, -77.0517], [6.5370, -71.6614], [10.6670, -74.9081], [7.7393, -77.2369], [5.6037, -74.0804],

```
[6.0602, -75.4058], [5.1306, -74.9089], [10.3765, -75.4796], [7.8841, -76.6338], [10.7652, -
74.9773],
[9.2417, -75.8283], [10.6420, -74.9145], [7.9059, -76.6122], [6.4597, -71.7342], [7.9877, -
76.6139]
];
```

Prueba 1: Se crea un mapa con 100 ubicaciones aleatorias.

```
var map = L.map('map').setView([4.5709, -74.2973], 6);
L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
  attribution: '© OpenStreetMap contributors'
}).addTo(map);
```

Añade una capa base de OpenStreetMap al mapa.

```
var icon = L.icon({
  iconUrl: 'https://raw.githubusercontent.com/pointhi/leaflet-color-markers/master/img/marker-
icon-2x-red.png',
  iconSize: [25, 41],
  iconAnchor: [12, 41],
  popupAnchor: [1, -34],
  shadowSize: [41, 41]
});
```

Prueba número dos: se agrega un marcador en cada una de las coordenadas mencionadas. Este puede se puede personalizar como desee.

```

locations.forEach(function(location) {
    L.marker(location, {icon: icon}).addTo(map)
        .bindPopup("<b>Ubicación</b><br>Latitud: " + location[0] + "<br>Longitud: " +
location[1]);

```

Prueba 2: asocia un mensaje emergente al marcador que muestra información cuando se hace click en él.

```

    });

</script>

</body>

</html>

```

En la segunda fase del proyecto se evalúa la mejor metodología para que el mapa cargue información en tiempo real. El primer paso consiste en determinar cuáles son las variables fijas y móviles del código:

Variables fijas:

- La línea que indica el tipo de documento `<!DOCTYPE html>`.
- La declaración del idioma `<html lang="es">`.
- Los metadatos `<meta charset="UTF-8">` y `<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">`. El primero hace referencia al juego de

caracteres utilizado en el documento. En este caso, se utiliza UTF-8, un estándar muy utilizado que puede representar la mayoría de los caracteres escritos en cualquier idioma humano. El segundo se utiliza para controlar la forma en que el contenido se ajusta y escala en diferentes dispositivos y tamaños de pantalla. En este caso, se está especificando que el ancho del contenido debe ser igual al ancho del dispositivo y la escala inicial de la página se establece en 1.0, lo que significa que la página se mostrará inicialmente a un nivel de zoom estándar.

- El título de la página `<title>Mapa de Colombia con 100 Marcadores</title>`.
- La inclusión de la hoja de estilo de Leaflet `<link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet/dist/leaflet.css" />`.
- El estilo CSS definido dentro del bloque `<style>`. El estilo establece la altura del contenedor del mapa en 600 píxeles. Este estilo es esencial para garantizar que el mapa Leaflet tenga un tamaño adecuado y sea visible en la página web.
- La definición del contenedor del mapa `<div id="map"></div>`. El uso de un contenedor separado para el mapa proporciona una manera ordenada de mantener el mapa y otros contenidos separados, facilitando la gestión y la manipulación del mapa y otros elementos de la página.
- La inclusión del script de Leaflet `<script src="https://unpkg.com/leaflet/dist/leaflet.js"></script>`. Al incluir este script en la página, se habilitan todas las funcionalidades proporcionadas por Leaflet, como la creación de mapas, la adición de capas, la colocación de marcadores, entre otras. Al cargar el script desde una fuente externa (en este caso, desde <https://unpkg.com/>), se garantiza que siempre se esté utilizando la versión más reciente de Leaflet, lo que puede

mejorar la estabilidad y la compatibilidad de la aplicación con diferentes navegadores y dispositivos.

Variables móviles:

- La matriz de ubicaciones locations. Esta variable almacena una matriz de ubicaciones geográficas representadas como pares de coordenadas [latitud, longitud]. Cada elemento de la matriz locations representa un punto en el mapa donde se colocará un marcador.
- La variable map que define el mapa Leaflet y su configuración inicial.
- La definición del icono para los marcadores icon. Es un objeto que define las propiedades visuales del icono que se utilizará para representar los marcadores en el mapa. En este caso, se especifica la URL de la imagen del icono, su tamaño, la posición del ancla y otras propiedades.
- La iteración sobre la matriz de ubicaciones para agregar marcadores al mapa y asociarles popups. Este mensaje emergente contiene información sobre la ubicación, como la latitud y longitud. Esta iteración asegura que se agregue un marcador en cada ubicación de la matriz locations y que se muestre un mensaje emergente personalizado cuando se haga clic en cada marcador.

Por otro lado, CCL proporcionó la siguiente información que desean incluir en el código.

Teniendo en cuenta las variables anteriormente mencionadas, este input podría ubicarse de la siguiente forma:

Ilustración 1

Campos de información proporcionados por CCL

| ORIGEN DEL DATO | NOMBRE DEL CAMPO | INFORMACION | OBSERVACION DEL CAMPO |
|---------------------------|---------------------------------|-------------|---|
| SISTEMA DE TRANSPORTE CCL | PLACA | | |
| | TIPO DE VEHICULO | | TURBO (4.5 TON); SENCILLO (8.5 TON); DOBLE TROQUE (17 TON); PATINETA (18 TON); TRACTOMULA (32 TON); TRACTOMULA (34 TON) |
| | CARROCERIA | | CAMABAJA; ESTACAS; FURGON; PLANCHON |
| | ULTIMA FECHA ACTUALIZACION | | FECHA DE ACTUALIZACION DE INFORMACION EN NUESTRO SISTEMA |
| | NOMBRE DEL CONDUCTOR | | |
| | CELULAR CONDUCTOR | | |
| | NOMBRE DEL PROPIETARIO | | |
| | CELULAR DEL PROPIETARIO | | |
| | ESTADO DEL VEHICULO | | ACTIVO O BLOQUEADO |
| | UBICACION GPS | | ULTIMA UBICACION SEÑALADA POR GPS |
| GPS DEL VEHICULO | FECHA Y HORA DE GPS | | TRAE LA ÚLTIMA FECHA Y HORA DE LECTURA DEL GPS |
| | LATITUD | | REGISTRA ULTIMA LATITUD GPS |
| | LONGITUD | | REGISTRA ULTIMA LONGITUD DEL GPS |
| RNDC | ULTIMO ORIGEN | | SI SE PUEDE TOMAR DE LA CONSULTA DEL RNDC ULTIMO ORIGEN DE VIAJE REGISTRADO |
| | ULTIMO DESTINO | | SI SE PUEDE TOMAR DE LA CONSULTA DEL RNDC ULTIMO DESTINO DE VIAJE REGISTRADO |
| | FECHA Y HORA DE ULTIMO DESPACHO | | SI SE PUEDE TOMAR DE LA CONSULTA DEL RNDC ULTIMA FECHA Y HORA DE DESPACHO |

PÁGINA DE CONSULTA RNDC <https://rndc.mintransporte.gov.co/MenuPrincipal/tabid/204>

Fuente: Compañía Colombiana Logística

- Matriz de ubicación location: su fuente principal serían la ubicación GPS, fecha y hora GPS, latitud, longitud.
- Variable Icon: dependiendo del tipo de vehículo podría tener un color o una forma distinta.
- Popups: contendría la información relacionada con estado del vehículo, celular del propietario, nombre del propietario, carrocería tipo de vehículo, placa, celular de conductor, nombre del conductor, estado del vehículo, última fecha de actualización.

7. Resultados obtenidos

De acuerdo con las pruebas realizadas en el código, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Leaflet permite agregar más de 100 marcadores. No obstante, a mayor cantidad, más lento puede ser el sistema.

Ilustración 2

Primera prueba: Cantidad de marcadores permitidos



Fuente: elaboración propia

- Permite personalizar los marcadores. En el código se utilizó un marcador diferente al que se genera automáticamente en la herramienta. Este puede cambiar de tamaño, de color, etc. Además, los mensajes que aparecen por cada también pueden modificarse.

Ilustración 3

Personalización de los marcadores



Fuente: elaboración propia

8. Conclusiones

De acuerdo con la información obtenida en los puntos anteriores, se concluye que Leaflet es una herramienta que permite cumplir con las necesidades de CCL: automatizar el código y generar marcadores por cada tipo de flota. Esto por medio, de la creación de mapas con una amplia capacidad para personalizar y agregar un gran número de marcadores. Sin embargo, se requiere de una interfaz adicional para automatizar la información en tiempo real, la cual se discutirá en fases posteriores teniendo en cuenta el análisis de variables fijas y móviles. Los resultados obtenidos en la fase posterior permitirán a la empresa optimizar costos y ofrecer a sus clientes un servicio más eficiente, estando a la vanguardia de un mercado que cada día se enfrenta a retos más complejos donde una de las mejores soluciones es el desarrollo y uso de tecnologías.

9. Bibliografía

- Christopher R. Cherry, Adebola A. Adelokun. (2012). *Truck driver perceptions and preferences: Congestion and conflict, managed lanes, and tolls*. Transport Policy. Volume 24. Pages 1-9. ISSN 0967-070X.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.012>.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). Introduction to Algorithms (3rd ed.). MIT Press.
- Corporación Colombiana de Logística. (2024). Corporación Colombiana de Logística.
<https://www.ccl.com.co/nosotros/>
- Descartes Systems Group. (s.f.). Fleet Management Solutions. Descartes. Recuperado de <https://www.descartes.com/solutions/fleet-management>
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). Ant Colony Optimization. MIT Press.
- García, J. (2017, October 24). *10 cosas que quizá no sabías de Leaflet*. MappingGIS.
- Kötschau, R., Martins-Turner, K., Ehmke, J. F., & Nagel, K. (2021). Combining Simulation and Optimisation to Design Reliable Transportation Services with Autonomous Fleets. *Transportation Research Procedia*, 52, 59-66.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.091>

Leaflet. (2023). *Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps.*

Introduction to Leaflet. Retrieved from <https://leafletjs.com>

Maciej Hojda, Jacek Żak, Grzegorz Filcek. (2018). *Multiple Criteria Optimization of the Joint Vehicle and Transportation Jobs Selection and Vehicle Routing Problems for a Small Road Freight Transportation Fleet.* Transportation Research Procedia.

Volume 30. Pages 178-187. ISSN 2352-1465.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.020>.

Mitchell, M. (1998). *An Introduction to Genetic Algorithms.* MIT Press.

Route4Me. (s.f.). *Route Optimization Platform.* Route4Me. Recuperado de

<https://www.route4me.com/>

Oracle. (s.f.). *Supply Chain Management.* Oracle. Recuperado de

<https://www.oracle.com/scm/>

Trimble. (s.f.). *Fleet Management Solutions.* Trimble. Recuperado de

<https://www.trimble.com/Transportation/fleet-management.aspx>

Yong Wang, Shouguo Peng, Chengcheng Xu, Kevin Assogba, Haizhong Wang, Maozeng

Xu, Yinhai Wang. (2018). *Two-echelon logistics delivery and pickup network optimization based on integrated cooperation and transportation fleet sharing.*

Expert Systems with Applications. Volume 113. Pages 44-65. ISSN 0957-4174.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.037>.