

Proyecto:  
Optimización en logística para la empresa LogistiCo

**Curso:** ISIS-3302  
Departamento de Ingeniería de Sistemas  
Universidad de los Andes

## 1 Introducción General

Este documento unifica los enunciados de **tres diferentes enunciados** para la realización del proyecto de optimización en logística, cada uno con un enfoque particular. En conjunto, los proyectos buscan mejorar la eficiencia operativa en distintos escenarios, considerando elementos comunes como la planificación de rutas, la asignación de vehículos y la minimización de costos, pero diferenciándose en aspectos específicos que se detallan a continuación.

## 2 Acerca de LogistiCo

LogistiCo es una empresa líder en soluciones logísticas, reconocida por su capacidad de innovar y adaptarse a entornos operativos complejos. Su misión es optimizar la distribución de mercancías y la entrega de insumos críticos mediante la aplicación de modelos matemáticos avanzados y tecnologías de punta. Con el fin de atender las distintas necesidades del mercado, LogistiCo se organiza en tres divisiones principales:

- **Urban Logistics:** Se enfoca en la distribución y gestión de mercancías dentro de áreas metropolitanas. Esta división aborda los desafíos inherentes a la alta densidad de tráfico, restricciones de espacio en entornos urbanos, el alto volumen de entregas.
- **Rural/Offshore Logistics:** Dedicada a la logística en zonas rurales y áreas de difícil acceso, esta división enfrenta retos relacionados con infraestructuras

---

limitadas, distancias largas y condiciones ambientales adversas, garantizando la entrega oportuna en comunidades remotas o aisladas dentro de una ventana de tiempo específica.

- **National Logistics:** Responsable de la coordinación del transporte de mercancías a nivel nacional, esta división integra redes de transporte, optimizando rutas que conectan puertos con destinos finales en todo el país, cumpliendo con diversas normativas y restricciones operativas.

Con el objetivo de seguir a la vanguardia y mejorar continuamente sus procesos, LogistiCo ha decidido colaborar con la Universidad de los Andes. Los expertos en modelado, simulación y optimización de la institución han sido convocados para abordar y formular soluciones a los problemas específicos que presenta cada división. En este documento se presentan tres proyectos, cada uno enfocado en uno de los ámbitos anteriormente descritos, en los cuales se requiere desarrollar la formulación matemática, el preprocesamiento de datos y las suposiciones que representen fielmente la realidad operativa y alineen sus objetivos con la misión y visión de LogistiCo.

### 3 Entregables

Para la entrega correspondiente a esta etapa, los estudiantes deberán presentar un documento en formato PDF que cumpla con los siguientes requerimientos, los cuales se evaluarán con base en los porcentajes indicados:

#### 1. Formulación Matemática Completa (35 %):

- **Definición de Conjuntos:** Especifique de forma clara los conjuntos relevantes (por ejemplo, centros de distribución, clientes, vehículos, etc.).
- **Definición de Parámetros:** Liste todas las constantes necesarias, incluyendo capacidades, distancias, tiempos, precios y otras variables operativas o de preprocesamiento.
- **Variables de Decisión:** Detalle las variables principales y las auxiliares que permitan capturar el comportamiento esperado del sistema.
- **Restricciones:** Formule todas las restricciones necesarias para representar adecuadamente la realidad del problema, tanto organizacionales como físicas.

#### 2. Función Objetivo y Proceso de indagación (10 %):

- 
- Plantee de forma explícita la función a optimizar (por ejemplo, minimizar costos operativos y de transporte), considerando posibles penalizaciones por incumplimiento de restricciones.
  - Describa el proceso de indagación realizado para definir y justificar la función objetivo, incluyendo la revisión de literatura y análisis comparativo con casos de estudio relevantes.

### **3. Preprocesamiento de Datos y Análisis (20 %):**

- Describa el proceso utilizado para extraer y procesar datos adicionales, como el cálculo de distancias y tiempos de viaje entre puntos (por ejemplo, utilizando la fórmula de Haversine, herramientas GIS o APIs de mapas).
- Explique cómo se integró esta información en la formulación del modelo.

### **4. Ejemplos Ilustrativos (10 %):**

- Presente casos de aplicación del modelo en escenarios de pequeña escala, mostrando tanto los datos de entrada como los resultados obtenidos.
- Analice la factibilidad y consistencia de la solución propuesta en dichos escenarios.

### **5. Justificación y Discusión (15 %):**

- Justifique detalladamente cada elemento del modelo (conjuntos, parámetros, variables, función objetivo y restricciones) en relación con el enunciado del problema.
- Discuta la relevancia de los datos, las decisiones metodológicas adoptadas y los posibles impactos operativos en el contexto de LogistiCo en Bogotá.

### **6. Organización y Calidad del Documento (10 %):**

- El documento debe estar bien estructurado, con redacción clara y coherente.
- Se valorará el uso adecuado de tablas, figuras y notación matemática, así como la correcta integración de toda la información.

---

## 4 Proyecto A: Optimización en la Planeación de Transporte Vehicular Urbana Para LogistiCo

### 4.1 Objetivo

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una formulación matemática que permita optimizar la asignación de inventario y la planificación de rutas de transporte vehicular en la ciudad de Bogotá para la empresa LogistiCo. Se busca, en última instancia, minimizar los costos operativos y de transporte, garantizando entregas rápidas y seguras, y cumpliendo con las limitaciones inherentes al negocio.

### 4.2 Contexto

El problema a abordar se sitúa en el ámbito de la logística, cuyo propósito es asegurar la distribución eficiente de bienes y servicios en entornos urbanos complejos. LogistiCo, una empresa especializada en soluciones logísticas integrales, ha establecido convenios con diversas plataformas de comercio electrónico para distribuir mercancías en Bogotá, una ciudad caracterizada por un extenso área metropolitana y elevados niveles de congestión vial.

Debido al crecimiento exponencial de las compras en línea, la empresa opera a través de múltiples Centros de Distribución (CD) o bodegas, ubicados estratégicamente tanto en la ciudad como en sus alrededores. Cada bodega dispone de una capacidad limitada de almacenamiento, impuesta por restricciones físicas y de seguridad, lo que demanda la optimización en la asignación del inventario y en la planificación de rutas de entrega. En este contexto, la gestión eficiente de vehículos y la configuración de rutas resultan fundamentales para el éxito de la operación.

### 4.3 Acerca de LogistiCo: Urban Logistics Division

LogistiCo se ha consolidado como un referente en el mercado logístico gracias a su amplia experiencia en áreas fundamentales como la gestión de almacenes, la distribución y el transporte. En el ámbito urbano, la división de Urban Logistics se especializa en la planificación y ejecución de operaciones de entrega para plataformas de comercio electrónico, colaborando con empresas internacionales de primer nivel como Temu, Mercado Libre y Amazon.

Esta división enfrenta de manera directa los desafíos propios de los entornos urbanos, tales como la congestión vehicular, las restricciones de acceso y la alta exigencia

---

de sus clientes. Para abordar estos retos, se implementan técnicas avanzadas de optimización de rutas y planificación inteligente, apoyadas en análisis de datos en tiempo real y sistemas de información geográfica (GIS). Dichas herramientas permiten ajustar dinámicamente las rutas de entrega, mejorar la eficiencia en la última milla y reducir tanto los tiempos de espera como los costos operativos.

Además, la Urban Logistics Division se integra estrechamente con el área de planeación urbana, colaborando en el desarrollo de soluciones de movilidad sostenible y en la implementación de sistemas de transporte inteligente que contribuyen a la reducción de la congestión y a la mejora de la calidad de vida en las ciudades. La incorporación de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis predictivo, permite anticipar y adaptarse a las variaciones en el tráfico urbano, optimizando la distribución de recursos y garantizando un servicio de alta calidad.

#### 4.4 Descripción del Problema y Restricciones

El proyecto se centra en la planificación del transporte vehicular para la distribución de productos en Bogotá, enfrentando desafíos propios de la distribución logística. Los aspectos fundamentales a considerar son:

- **Asignación de Inventario:** Distribuir el stock de forma equilibrada entre los diferentes Centros de Distribución, asegurando que el inventario asignado a cada bodega no supere su capacidad de almacenamiento.
- **Planeación de Rutas:** Diseñar rutas de entrega que vayan más allá del trayecto directo desde un centro hacia un cliente, permitiendo además conexiones entre clientes que optimicen el recorrido general.
- **Gestión de Vehículos:** Los vehículos empleados tienen capacidades de carga limitadas y restricciones en su autonomía, ya sea en términos de distancia o tiempo, lo que condiciona la extensión y viabilidad de cada ruta y determina la cobertura efectiva de las entregas.

Asimismo, el modelo deberá incorporar las siguientes limitaciones operativas:

1. **Capacidad de los Centros de Distribución:** Cada bodega cuenta con un límite máximo de almacenamiento que no debe ser excedido para garantizar la integridad del inventario.

- 
2. **Capacidad y Autonomía de los Vehículos:** Los vehículos tienen una carga máxima admisible y una autonomía operativa que impone restricciones sobre los trayectos posibles, afectando directamente la planificación de rutas.
  3. **Rutas y Conexiones:** Se deben considerar rutas que conecten centros de distribución con clientes, así como rutas que permitan la conexión entre clientes cuando ello contribuya a una mayor eficiencia en la red de entregas.

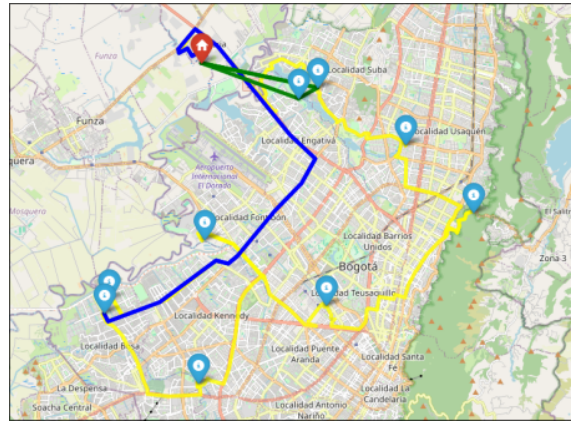


Figura 1: Ejemplo de una planeación vehicular optima

Adicionalmente, es fundamental realizar una investigación exhaustiva para identificar y cuantificar las constantes operativas que rigen este tipo de problemas. Entre estas, se encuentran el costo del combustible, las tarifas de flete y los costos de mantenimiento (ya sea basados en el tiempo de operación o en la distancia recorrida). La incorporación de estos valores reales permitirá demarcar un objetivo económico acorde con los estándares y metas de LogistiCo, facilitando la toma de decisiones y la evaluación del impacto económico de cada solución propuesta.

## 4.5 Datos del Problema

En esta sección se detallan los datos que van a estar en disposición para la formulación del modelo, con el fin de representar las ubicaciones de los centros de distribución, las zonas de entrega o clientes, así como las demandas y capacidades involucradas. Si bien estos datos son los más relevantes se espera que el estudiante investigue del problema y encuentre información basada en la realidad para poder completar el modelo y que se asemeje lo más que se pueda a como se vería una implementación real del problema.

---

#### 4.5.1. Centros de Distribución

Los datos de los centros de distribución incluirán la ubicación geográfica (latitud y longitud) y, en algunos casos, la capacidad máxima de almacenamiento.

ID	Nombre	Latitud	Longitud	Capacidad (kg)
CD1	Bodega Norte	4.7110	-74.0721	20000
CD2	Bodega Sur	4.6050	-74.0835	50000
CD3	Bodega Este	4.6700	-74.0300	30000

Cuadro 1: Ejemplo de datos de Centros de Distribución

#### 4.5.2. Clientes / Zonas de Entrega

Se dispondrá de la ubicación (latitud y longitud) de cada zona de entrega o cliente, junto con la demanda respectiva.

ID Cliente	Zona	Latitud	Longitud	Demanda (unidades)
C1	Catalina	4.6486	-74.0608	50
C2	Rodrigo	4.7333	-74.0700	80
C3	Luis	4.7000	-74.0200	65

Cuadro 2: Ejemplo de datos de Clientes / Zonas de Entrega

#### 4.5.3. Vehículos

Los datos de la flota incluyen la capacidad útil de carga y el rango operativo de cada vehículo.

ID Vehículo	Capacidad Útil (unidades)	Rango Útil (km)
V1	100	120
V2	80	100
V3	150	150

Cuadro 3: Ejemplo e datos de Vehículos

---

#### 4.5.4. Constantes Adicionales

Aunque se proporcionan los datos anteriores, es imprescindible que el estudiante indague y determine otras constantes relevantes para el negocio, tales como el precio del combustible, tarifa de flete, costo de mantenimiento, entre otros. Todos estos parámetros deben ser correctamente declarados e identificados en el documento final.

Parámetro	Descripción	Valor [COP]
$P_f$	Precio del combustible (por litro)	\$15.000
$F_t$	Tarifa de flete (por km)	\$5.000
$C_m$	Costo de mantenimiento (por km)	\$700

Cuadro 4: Ejemplo de constantes adicionales

### 4.6 Instrucciones

#### 1. Lectura y Comprensión del Enunciado:

- Lea detenidamente el enunciado del problema, identificando el contexto operativo de LogistiCo en Bogotá y la importancia de la distribución de mercancías.
- Analice las características del sistema logístico y abstraiga el problema a un problema de optimización.

#### 2. Identificación de Elementos Clave:

- Enumere y defina los componentes esenciales que integran el sistema.
- Reflexione sobre las limitaciones inherentes al negocio: ¿Qué es lo que físicamente limita al problema? ¿Cuáles son las limitaciones organizacionales que inciden en el problema?

#### 3. Formulación de la Estructura del Modelo:

- **Definición de Conjuntos:** Determine cuáles son los conjuntos relevantes que estructuran el modelo.
- **Definición de Parámetros:** Identifique y liste las constantes que describen las condiciones operativas.



- 
- **Variables de Decisión:** Establezca qué decisiones se deben tomar en el modelo y qué variables auxiliares pueden ayudar a garantizar el comportamiento esperado de la solución.
  - **Formulación de Restricciones:** Con base en el contexto del problema y en las limitaciones tanto organizacionales como físicas identificadas, formule las restricciones necesarias para representar correctamente la realidad operativa.

#### 4. Preprocesamiento de Datos:

- Procese la información inicial para extraer los datos adicionales necesarios para la resolución del problema.
- Por ejemplo, una parte importante del problema es determinar cuánto tiempo y qué distancia recorre un vehículo de un punto A a un punto B. Dado que esta información puede no estar presente en los datos de entrada, el estudiante debe investigar y aplicar técnicas (como la fórmula de Haversine, herramientas GIS o APIs de mapas) para obtener y ajustar estos parámetros al modelo.

#### 5. Desarrollo de la Función Objetivo:

- Determine qué aspectos se deben optimizar.
- Realice un proceso de indagación para identificar los objetivos estratégicos en el sector logístico y tradúzcalos en una función matemática, considerando la posibilidad de incluir penalizaciones por incumplimiento de restricciones.
- Utilice, como referencia, el Laboratorio 2, Problema 5 del TSP para obtener ideas sobre la optimización de rutas y adaptar el concepto al contexto de LogistiCo.

#### 6. Validación y Análisis:

- Una vez formulado el modelo, realice pruebas en escenarios de pequeña escala para verificar la factibilidad y consistencia de la solución.
- Ajuste los parámetros y restricciones según sea necesario, basándose en datos reales o en estimaciones razonables, para asegurar que el modelo se adapte a las condiciones del entorno logístico.

#### 7. Documentación:

- 
- Elabore un documento que incluya la formulación matemática completa: definición de conjuntos, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones.
  - Incluya ejemplos ilustrativos que demuestren cómo se aplica el modelo en casos prácticos, justificando detalladamente cada elemento del modelo en relación con el enunciado.

---

## 5 Proyecto B: Optimización en la Planificación de Entregas Salva Vidas con Flota Híbrida para LogistiCo

### 5.1 Objetivo

El presente proyecto tiene como objetivo definir la estrategia de entregas que permita garantizar el acceso oportuno a insumos médicos y productos esenciales en comunidades remotas de La Guajira, utilizando una flota híbrida compuesta por drones y camionetas todoterreno. Se busca minimizar los tiempos de entrega y los costos operativos, respetando rigurosamente las ventanas de tiempo establecidas para cada destino.

### 5.2 Contexto

LogistiCo se ha comprometido con un objetivo social de gran relevancia: asegurar que las comunidades alejadas en La Guajira, donde la infraestructura de transporte es limitada y las condiciones climáticas pueden ser extremas, reciban insumos médicos y productos esenciales de manera oportuna. Inspirados en iniciativas como la de Zipline en Ruanda, LogistiCo ha adoptado una estrategia innovadora que combina el uso de drones para trayectos cortos y camionetas todoterreno para recorridos de mayor distancia, centralizando todas las operaciones en un único depósito ubicado en las inmediaciones de Riohacha.

El reto principal radica en la planificación de rutas y horarios que permitan cumplir con las estrictas ventanas de tiempo de cada destino, teniendo en cuenta las limitaciones de cada tipo de vehículo y los desafíos propios de operar en entornos rurales y climáticamente adversos.

### 5.3 Acerca de LogistiCo: Rural/Offshore Logistics Division

LogistiCo se destaca en el mercado logístico por su capacidad de innovar en la distribución de mercancías en entornos complejos y de difícil acceso. La división de Rural/Offshore Logistics se especializa en atender regiones remotas y aisladas, focalizando sus esfuerzos en garantizar el acceso oportuno a insumos críticos y productos esenciales en zonas como La Guajira.

En esta división, LogistiCo asume una misión de alto impacto social, donde la eficiencia operativa se combina con la implementación de tecnologías emergentes. Para

---

enfrentar los desafíos de infraestructuras limitadas, terrenos difíciles y condiciones climáticas extremas, la empresa integra un sistema de entrega híbrido. Este sistema utiliza drones para realizar entregas rápidas en trayectos cortos y camionetas todo-terreno, robustas y adaptadas para recorridos largos, permitiendo así cubrir amplias áreas geográficas con alta eficacia.

La centralización de las operaciones en un único depósito sin restricciones de capacidad facilita la coordinación de los recursos y la planificación de rutas, optimizando el flujo de mercancías hacia las comunidades más necesitadas. Además, esta división trabaja en estrecha colaboración con las autoridades locales y las comunidades para asegurar que las soluciones propuestas se adapten a las particularidades del entorno, garantizando así una respuesta logística ágil y sostenible.

## 5.4 Descripción del Problema y Restricciones

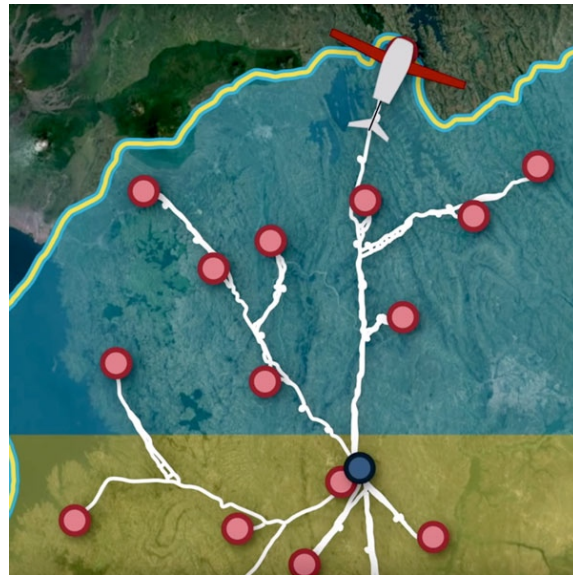


Figura 2: Ruteo de drones para insumos médicos en zonas rurales

El proyecto se centra en la planificación del despacho de insumos y productos esenciales desde un único depósito ubicado en Riohacha hacia diversas comunidades y centros de salud en La Guajira. Los principales aspectos a considerar son:

- **Planificación de Rutas y Horarios:** Diseñar rutas que permitan cumplir con las estrictas ventanas de tiempo de cada destino, considerando restricciones

---

como horarios de recepción de insumos, condiciones climáticas y disponibilidad de personal.

- **Asignación de Vehículos:** Determinar la asignación óptima de vehículos (drones y camionetas todoterreno) en función de la distancia, la capacidad de carga requerida y la autonomía de cada tipo de unidad.
- **Optimización de Costos y Tiempos:** Minimizar el tiempo total de entrega y los costos operativos, que incluyen combustible, mantenimiento y el uso de tecnología.

Las restricciones operativas del modelo incluyen:

1. **Ventanas de Tiempo:** Cada comunidad o centro de salud dispone de una ventana de tiempo específica para recibir entregas, la cual debe cumplirse rigurosamente.
2. **Limitaciones de Vehículos:**
  - **Drones:** Poseen limitada capacidad de carga y autonomía, siendo adecuados para trayectos cortos y zonas con barreras físicas.
  - **Camionetas Todoterreno:** Cuentan con mayor capacidad de carga, pero deben enfrentar mayores distancias y condiciones adversas de las vías, lo que incrementa sus costos operativos.
3. **Origen Único:** Todas las entregas parten de un único depósito en Riohacha, el cual no presenta restricciones de capacidad.
4. **Condiciones Externas:** Factores como las condiciones climáticas y el estado de la infraestructura vial influyen en los tiempos de entrega y deben ser incorporados en la planificación.

Además, se debe realizar un análisis exhaustivo para identificar y cuantificar las constantes operativas relevantes, tales como tarifas de combustible, costos de mantenimiento y otros parámetros críticos para la operación en este entorno.

**Aspecto Único del Problema:** Un rasgo distintivo de este problema es la limitada disponibilidad de vehículos y las adversas condiciones climáticas que caracterizan la región. Debido a estos factores, es muy común que la flota vehicular no sea capaz de realizar todas las entregas en un solo viaje. En múltiples ocasiones, se hace necesario que los vehículos retornen al centro de distribución para reabastecerse

---

antes de continuar con las entregas a otros destinos. Esta característica añade una capa adicional de complejidad al modelo, ya que requiere la inclusión de ciclos de reabastecimiento y la planificación de rutas múltiples, lo cual impacta tanto en los tiempos de entrega como en los costos operativos.

## 5.5 Datos del Problema

En esta sección se detallan los datos que estarán disponibles para la formulación del modelo, con el fin de representar la ubicación del único centro de distribución, las zonas de entrega o clientes, las demandas y las características de los vehículos. Se espera que el estudiante complemente esta información con datos reales y adicionales para ajustar el modelo a una implementación práctica.

### 5.5.1. Centro de Distribución

El centro de distribución incluye la ubicación geográfica (latitud y longitud). No se impone una capacidad máxima.

ID	Nombre	Latitud	Longitud
CD1	Depósito Principal (Riohacha)	11.5449	-72.9071

Cuadro 5: Ejemplo de datos del Centro de Distribución

### 5.5.2. Clientes / Zonas de Entrega

Se dispondrá de la ubicación (latitud y longitud) de cada zona de entrega o cliente, junto con la demanda y la ventana de tiempo en la que pueden recibir insumos.

ID Cliente	Ubicación	Latitud	Longitud	Demanda (unidades)	Ventana de Tiempo
C1	Caserío El Sol	11.6000	-72.8500	30	08:00-12:00
C2	Centro de Salud La Esperanza	11.5200	-72.9200	50	09:00-13:00
C3	Ranchería Los Pinos	11.5800	-72.8800	40	10:00-14:00

Cuadro 6: Ejemplo de datos de Clientes / Zonas de Entrega

### 5.5.3. Vehículos

La flota está compuesta por drones y camionetas todoterreno. Se detallan la capacidad de carga y el rango operativo de cada vehículo.

---

ID Vehículo	Tipo	Capacidad Útil	Rango Útil (km)
V1	Camioneta	200 (unidades)	300
V2	Dron	20 (unidades)	50
V3	Dron	15 (unidades)	40

Cuadro 7: Ejemplo de datos de Vehículos

#### 5.5.4. Constantes Adicionales

Aunque se proporcionan los datos anteriores, es imprescindible que el estudiante indague y determine otras constantes relevantes para el negocio, tales como el precio del combustible, tarifa de flete, costo de mantenimiento, entre otros. Todos estos parámetros deben ser correctamente declarados e identificados en el documento final.

Parámetro	Descripción	Valor [COP]
$P_f$	Precio del combustible (por litro)	\$15.000
$F_t$	Tarifa de flete (por km)	\$5.000
$C_m$	Costo de mantenimiento (por km)	\$700

Cuadro 8: Ejemplo de constantes adicionales

## 5.6 Instrucciones

### 1. Lectura y Comprensión del Enunciado:

- Lea detenidamente el enunciado del problema, identificando el contexto operativo de LogistiCo en La Guajira y la importancia de garantizar el acceso a insumos médicos y productos esenciales en comunidades remotas.
- Analice las características del sistema logístico y abstraiga el problema a un problema de optimización.

### 2. Identificación de Elementos Clave:

- Enumere y defina los componentes esenciales que integran el sistema.
- Reflexione sobre las limitaciones inherentes al negocio: ¿Qué es lo que físicamente limita al problema? ¿Cuáles son las limitaciones organizacionales que inciden en el problema?

---

### 3. Formulación de la Estructura del Modelo:

- **Definición de Conjuntos:** Determine cuáles son los conjuntos relevantes que estructuran el modelo.
- **Definición de Parámetros:** Identifique y liste las constantes que describen las condiciones operativas.
- **Variables de Decisión:** Establezca qué decisiones se deben tomar en el modelo y qué variables auxiliares pueden ayudar a garantizar el comportamiento esperado de la solución.
- **Formulación de Restricciones:** Con base en el contexto del problema y en las limitaciones tanto organizacionales como físicas identificadas, formule las restricciones necesarias para representar correctamente la realidad operativa, incluyendo el cumplimiento de las ventanas de tiempo.

### 4. Preprocesamiento de Datos:

- Procese la información inicial para extraer los datos adicionales necesarios para la resolución del problema.
- Por ejemplo, una parte importante del problema es determinar cuánto tiempo y qué distancia recorre un vehículo (dron o camioneta) de un punto A a un punto B. Dado que esta información puede no estar presente en los datos de entrada, el estudiante debe investigar y aplicar técnicas (como la fórmula de Haversine, herramientas GIS o APIs de mapas) para obtener y ajustar estos parámetros al modelo. Otro ejemplo es como se podría procesar las ventanas de tiempo para que puedan ser utilizadas en la formulación del modelo matemático.

### 5. Desarrollo de la Función Objetivo:

- Determine qué aspectos se deben optimizar (por ejemplo, minimizar tiempos de entrega y costos operativos, optimizar el uso de recursos, etc.).
- Realice un proceso de indagación para identificar los objetivos estratégicos en el sector logístico y tradúzcalos en una función matemática, considerando la posibilidad de incluir penalizaciones por incumplimiento de restricciones.
- Utilice, como referencia, el Laboratorio 2, Problema 5 del TSP para obtener ideas sobre la optimización de rutas y adaptar el concepto al contexto de LogistiCo.



---

## 6. Validación y Análisis:

- Una vez formulado el modelo, realice pruebas en escenarios de pequeña escala para verificar la factibilidad y consistencia de la solución.
- Ajuste los parámetros y restricciones según sea necesario, basándose en datos reales o en estimaciones razonables, para asegurar que el modelo se adapte a las condiciones del entorno logístico.

## 7. Documentación:

- Elabore un documento que incluya la formulación matemática completa: definición de conjuntos, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones.
- Incluya ejemplos ilustrativos que demuestren cómo se aplica el modelo en casos prácticos, justificando detalladamente cada elemento del modelo en relación con el enunciado.

---

## 6 Proyecto C: Optimización en la Planificación de Rutas Nacionales y Estrategia de Recarga para LogistiCo

### 6.1 Objetivo

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una estrategia integral de rutas para el transporte de carga a nivel nacional, que permita minimizar los costos operativos y de combustible. Se deberá garantizar la disponibilidad de recarga mediante estaciones de servicio estratégicamente ubicadas, a la vez que se respeta la restricción de peso impuesta en cada municipio por razones de seguridad vial.

### 6.2 Contexto

LogistiCo ha ampliado sus operaciones para cubrir el transporte de mercancías a lo largo y ancho de Colombia, conectando los principales puertos del Atlántico, como Barranquilla y Cartagena, con centros de consumo en el interior del país, tales como Bogotá, Medellín y Cali. La magnitud de los volúmenes de carga y la complejidad de la red vial nacional requieren una planificación de rutas meticulosa que, además de optimizar costos y tiempos, incorpore decisiones estratégicas sobre recargas de combustible y respete restricciones de peso en los municipios.

### 6.3 Acerca de LogistiCo: National Logistics Division

LogistiCo se ha consolidado como una empresa líder en soluciones logísticas, destacándose por su capacidad para innovar y adaptarse a entornos operativos complejos a nivel nacional. La División de National Logistics es responsable de coordinar y optimizar la distribución de mercancías a lo largo del país, conectando los principales puertos de entrada con centros de consumo en diversas regiones.

Esta división se caracteriza por:

- **Planificación de Rutas de Larga Distancia:** Diseña y ejecuta rutas eficientes que minimizan los costos operativos y de combustible, aprovechando tecnologías avanzadas para el seguimiento en tiempo real y el análisis de datos.
- **Estrategia Integral de Recarga:** Implementa estaciones de servicio estratégicamente ubicadas que aseguran la disponibilidad de recarga de combustible

---

a lo largo de los trayectos, permitiendo la continuidad de las operaciones sin interrupciones.

- **Gestión de Peajes y Restricciones Viales:** Considera el pago de peajes en tramos críticos y respeta las restricciones de peso impuestas por normativas locales, garantizando que cada segmento de la ruta cumpla con los estándares de seguridad vial.

Con estas capacidades, la National Logistics Division de LogistiCo se posiciona como un pilar fundamental para atender las demandas del mercado nacional, ofreciendo soluciones que combinan eficiencia operativa, tecnología de punta y cumplimiento normativo para garantizar un servicio de alta calidad.

## 6.4 Descripción del Problema y Restricciones

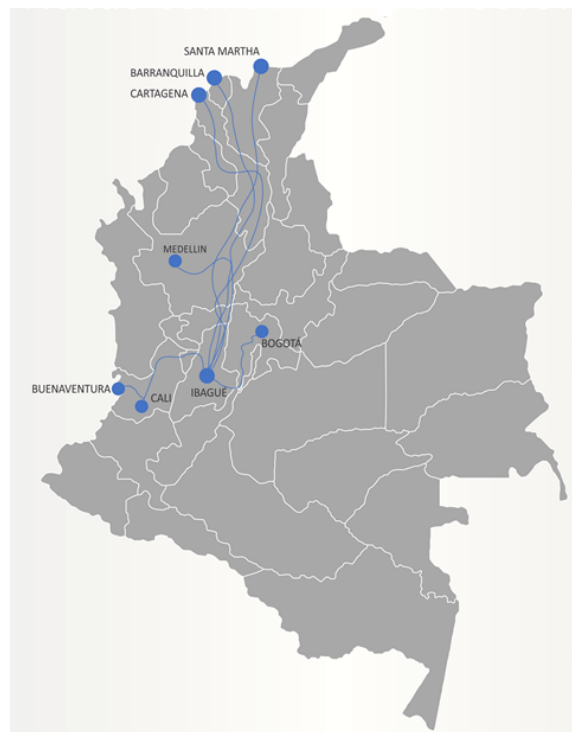


Figura 3: Ejemplo de una planeación de rutas transporte de carga

El reto consiste en planificar rutas de transporte que conecten el punto de acceso

---

marítimo en la región del Atlántico con los principales centros de consumo del país. La formulación del problema incluye:

- **Optimización de Rutas:** Determinar las rutas que minimicen el costo total de transporte, considerando distancias, peajes, mantenimiento y consumo de combustible.
- **Estrategia de Recarga:** Incorporar nodos de recarga (estaciones de servicio) que se gestionan a través de una tabla independiente, la cual incluye su ubicación (latitud y longitud) y el precio del combustible.
- **Restricciones de Peso por Municipio:** Cada municipio cuenta con una restricción de peso para los vehículos que ingresan o salen, impuesta por normas de seguridad vial (por ejemplo, en Guasca no pueden transitar vehículos con más de 18 toneladas).
- **Peajes:** Al pasar de un municipio a otro, es muy probable que se deba pagar un peaje. Se deben considerar tanto los peajes que se aplican desde el puerto hasta el municipio de destino como los peajes entre municipios. Las tarifas pueden ser fijas o variar en función del peso del vehículo.

## 6.5 Datos del Problema

### 6.5.1. Punto de Acceso

El único punto de acceso se encuentra en el Atlántico, el cual sirve de entrada a las mercancías para su distribución nacional.

ID	Nombre	Latitud	Longitud
P1	Puerto de Barranquilla	10.9639	-74.7964

Cuadro 9: Ejemplo de punto de acceso para la distribución nacional

### 6.5.2. Centros de Consumo

Se consideran los principales destinos o centros de consumo a nivel nacional, representados por los municipios del país.

---

ID Destino	Municipio	Peso Máximo (ton)
D1	Bogotá	N/A
D2	Guasca	18
D3	Cogua	25

---

Cuadro 10: Ejemplo de destinos para la distribución nacional

### 6.5.3. Estaciones de Servicio

Las estaciones de recarga de combustible se encuentran a lo largo de las principales carreteras y se caracterizan por su ubicación y el precio del combustible.

ID Estación	Nombre	Latitud	Longitud	Precio (COP/gal)
E1	Estación La Estrella	11.0000	-74.5000	12.000
E2	Estación El Sol	10.8000	-74.2000	11.500
E3	Estación Caribe	10.5000	-75.0000	12.500

---

Cuadro 11: Ejemplo de datos de estaciones de servicio

### 6.5.4. Peajes

La siguiente tabla presenta ejemplos de tarifas de peaje, indicando el tramo (desde el puerto o entre municipios), si existe o no peaje, el costo de la tarifa y si esta es fija o depende del peso del vehículo.

Origen	Destino	Tarifa Base (COP)	+ /Ton (COP)
P1 (Puerto de Barranquilla)	D1 (Bogotá)	20,000	N/A
D1 (Bogotá)	D2 (Guasca)	10,000	500
D2 (Guasca)	D3 (Cogua)	N/A	N/A

---

Cuadro 12: Ejemplo de tarifas de peaje con incremento por tonelada

### 6.5.5. Vehículos

La flota está compuesta por camiones con distintas capacidades y autonomías.

---

ID Vehículo	Capacidad Útil (ton)	Autonomía (km)
V1	30	800
V2	25	750
V3	20	700

Cuadro 13: Ejemplo de datos de vehículos

#### 6.5.6. Constantes Adicionales

Se deben definir parámetros operativos adicionales, tales como la tarifa de flete, costo de mantenimiento y límites de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Parámetro	Descripción	Valor
$F_t$	Tarifa de flete (COP/km)	5.000
$C_m$	Costo de mantenimiento (COP/km)	700

Cuadro 14: Ejemplo de constantes adicionales

### 6.6 Instrucciones

#### 1. Lectura y Comprensión del Enunciado:

- Analice el contexto nacional y las necesidades logísticas de LogistiCo, considerando la integración de rutas, estaciones de servicio y restricciones de peso.
- Identifique los elementos críticos del problema y abstraiga la situación a un modelo de optimización.

#### 2. Identificación de Elementos Clave:

- Defina los conjuntos relevantes: puntos de acceso, destinos, estaciones de servicio, municipios y vehículos.
- Reflexione sobre las restricciones operativas y normativas, especialmente en relación con los límites de peso y las variaciones en los precios del combustible.

#### 3. Formulación de la Estructura del Modelo:

- 
- **Definición de Conjuntos:** Especifique los conjuntos de nodos (puntos de acceso y destinos), estaciones de servicio, municipios y vehículos.
  - **Definición de Parámetros:** Liste todas las constantes y parámetros necesarios, incluyendo distancias, costos, capacidades, autonomía y límites de emisiones.
  - **Variables de Decisión:** Determine las variables que capturarán la asignación de rutas, la selección de estaciones de servicio y el cumplimiento de las restricciones de peso.
  - **Formulación de Restricciones:** Plantee las restricciones que aseguren la viabilidad de las rutas, la disponibilidad de combustible y el respeto a los límites de peso y emisiones.

#### 4. Preprocesamiento de Datos:

- Procese la información inicial para obtener datos adicionales, tales como distancias y tiempos de viaje entre puntos (por ejemplo, utilizando la fórmula de Haversine o herramientas GIS).
- Integre los datos de precios de combustible y restricciones de peso en la formulación del modelo.

#### 5. Desarrollo de la Función Objetivo:

- Establezca una función objetivo que minimice el costo total de transporte, considerando gastos de recorrido, peajes, mantenimiento y el costo del combustible.
- Incorpore penalizaciones por incumplimiento de restricciones, tales como exceder los límites de peso o emisiones.

#### 6. Validación y Análisis:

- Realice pruebas en escenarios de pequeña escala para verificar la factibilidad y consistencia del modelo.
- Ajuste los parámetros y restricciones en función de datos reales o estimaciones razonables.

#### 7. Documentación:

- Elabore un documento que incluya la formulación matemática completa: definición de conjuntos, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones.

- 
- Presente ejemplos ilustrativos y justifique cada componente del modelo en relación con el problema planteado.

**Tener en cuenta:**

- No se reciben entregas por fuera del plazo máximo y tampoco por correo. Las entregas solo se reciben por **Bloque Neón**.
- Esta actividad se puede entregar en grupos de hasta 3 integrantes.
- **IMPORTANTE!!!** Junto a los archivos de la entrega adjuntar los nombres de los integrantes del equipo.