



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y LOS  
COSTOS DE OPERACIÓN EN EL TRANSPORTE DE  
PERSONAL DE UNA EMPRESA MINERA**

Gabriel Ordóñez Pico

Julio Cesar Ubillus Bonilla

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Medellín, Colombia

2020



REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y LOS COSTOS DE OPERACIÓN EN EL  
TRANSPORTE DE PERSONAL DE UNA EMPRESA MINERA

**Gabriel Ordóñez Pico**  
**Julio Cesar Ubillus Bonilla**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título  
de:

**Especialista en logística Integral**

Asesores (a):

Gloria Osorno. Ingeniera Industrial  
Juan G. Villegas. Ingeniero Industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Medellín, Colombia

2020

## **Reducción de la huella de carbono y los costos de operación en el transporte de personal de una empresa minera.<sup>1</sup>**

Gabriel Ordóñez Pico<sup>2</sup>, Julio César Ubillús<sup>3</sup>

### **Resumen:**

La minería es una actividad económica que ha estado presente desde los orígenes y en la actualidad se sigue utilizando para generar avances y desarrollo en importantes campos científicos. No obstante, como toda actividad económica tiene unos impactos medio ambientales que se deben mitigar y/o eliminar, apuntando al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Es en este sentido, que para una empresa minera en exploración uno de sus mayores generadores de impactos en huella de carbono es el transporte de personal; debido a la cantidad de vehículos utilizados, el alto flujo de personal y la necesidad continua de movimientos en zonas del proyecto minero. Asimismo, además del impacto medioambiental, existe la necesidad de hacer una optimización de los recursos utilizados, que en definitiva, se traduce en una reducción de los costos logísticos inherentes a este rubro.

La metodología utilizada para abordar este problema se compone de un diagnóstico inicial del proceso de transporte, seguidamente de un análisis de causa efecto para identificar propuestas de mejora y por último, una validación de estas ideas de mejora mediante escenarios valorizados.

---

<sup>1</sup> Monografía Especialización en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.  
Asesor Temático: Juan G. Villegas. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería industrial, Grupo ALIADO, Universidad de Antioquia

Asesor Metodológico: Gloria Osorno. Profesora, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia

<sup>2</sup> Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Ingeniero Industrial

<sup>3</sup> Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Ingeniero de Sistemas

En síntesis, se puede inferir que mediante la ejecución de las ideas de mejora presentadas se puede lograr una reducción de la huella de carbono alrededor del 45%, que implica la utilización de vehículos de mayor capacidad de pasajeros y vehículos tipo híbridos. Asimismo, se obtiene una reducción del costo total de la operación de transporte en cerca del 41%, que obedece a la implementación de un Centro de Servicios y la creación de nuevas rutas de viaje.

**Palabras Clave:** Transporte, huella de carbono, vehículos, costos, mejoramiento

---

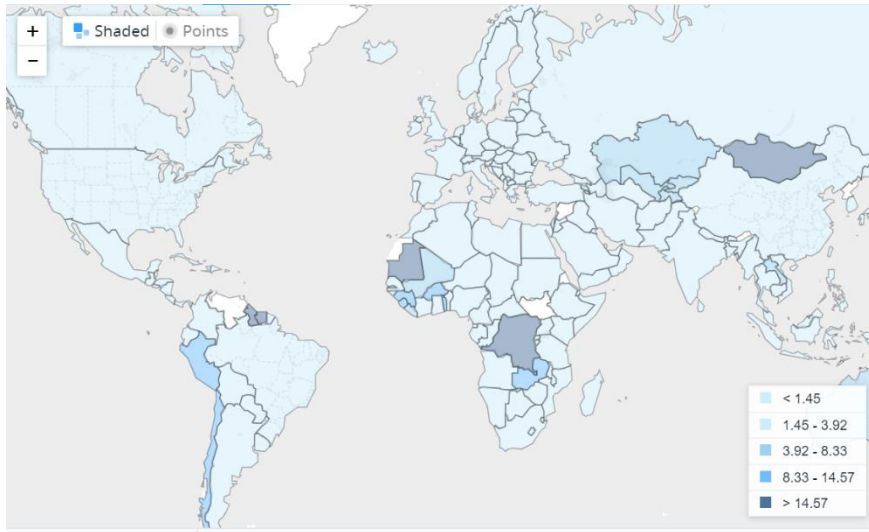
## **1. Introducción**

La minería como actividad económica primaria, ha venido teniendo grandes cambios a lo largo de toda la historia del ser humano. Es por ello, que hoy se puede hablar de empresas mineras socialmente responsables con las regiones y el medio ambiente donde se encuentran localizados sus proyectos. Estos cambios socioculturales han incrementado de alguna forma la demanda de minerales primarios como el oro, el cobre, el hierro, el carbón, entre otros. Así mismo, la humanidad se ha concientizado de la necesidad no negociable de realizar un uso sustentable y eficiente de los recursos naturales.

En este mismo sentido, como bien lo describe el Consejo Internacional de Minería y Metales, en la actual era tecnológica “Los metales se emplean en casi todos los aspectos de la sociedad moderna, desde el transporte hasta la energía, desde la vivienda hasta la atención sanitaria, desde la alimentación hasta la tecnología. Se innova rápidamente para desarrollar aleaciones cada vez más útiles para aplicaciones cada vez más amplias y más especializadas”. [1]

En los últimos 10 años, la industria minera ha aportado entre el 0.5 al 1 % en el Producto Interno Bruto mundial, su crecimiento de aporte ha sido cerca del 40%. Y en regiones de

África, como Mauritania y Congo, las rentas mineras representan más del 14% en su PIB. (Ver Figura 1Figura 1). [2]



**Figura 1.** Rentas mineras en el PIB mundial.

**Fuente:** Banco Mundial [2]

En Colombia la industria minera aporta cerca del 2% del PIB, de los cuales el 64% corresponde al carbón. Genera el 20% de las exportaciones totales y suma 5,5 billones en regalías desde 2010. Es el principal exportador de carbón en América Latina y el quinto mayor exportador de oro, también en la región latina. [3]

El calentamiento global y el agotamiento de los recursos naturales son una problemática de la que todas las personas conocen y son conscientes. Según el Observatorio Nacional de Salud del Instituto Nacional de Salud (INS), el número de muertes en Colombia al año es de 17000 personas a causa de la mala calidad del aire y del agua. En las grandes ciudades del mundo como Nueva Delhi, El Cairo, Dacca, Bombay, Pekín, Shanghái, Estambul, Buenos Aires y Sao Paulo esta problemática es mucho más cruda, pero para no ir muy lejos, en Bogotá al año mueren alrededor de 1963 personas, debido a esta causa. [4]

De la contaminación ambiental, el 58% del material particulado PM10 es proveniente de los vehículos y el otro 42% corresponde a las empresas e industrias. [4]

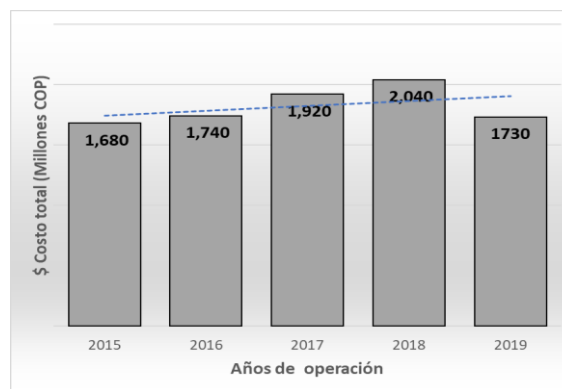
En este sentido, acentuando estas dos ideas de la importancia de la industria minera en el desarrollo económico de un país y la realidad ambiental en la contaminación del aire por el uso de los vehículos, se puede ir construyendo una problemática social, económica y ambiental, real y latente para cualquier proyecto minero.

En particular, esta monografía está dedicada al estudio del proceso de transporte de personal de un proyecto minero que se encuentra en desarrollo en el Departamento de Antioquia.

Dicho proyecto inició en 2006 y se espera que entre en explotación en los próximos 6 años.

En esta empresa bajo estudio no existe un procedimiento para la planeación, solicitud, asignación y programación de transporte. Asimismo, no se cuenta con procesos y políticas de contratación en las que se contemple la responsabilidad en el manejo de los residuos generados de la operación de transporte (llantas, baterías y cambio de aceites)..

De esta forma, se puede llegar a una problemática principal y es los costos (ver Figura 2) muchas veces ocultos, que puede estar generando la ineficiencia en el proceso de transporte de personal, así como el impacto creciente en la huella de carbono que esto conlleva.



**Figura 2.** Costo total del transporte de personal por año.

**Fuente:** Elaboración propia

La compañía realiza recorridos únicamente en camionetas tipo cabina 4X4, con capacidad para 5 pasajeros (incluido el conductor) según la demanda y sin ninguna planeación definida. Estas rutas se presentan en la Tabla 1, como referencia e información inicial para los análisis de la huella de carbono, costos y propuestas de mejora.

**Tabla 1.** Rutas actuales definidas en el transporte de personal.

	<b>Origen</b>	<b>Destino</b>
1	Medellín	Jericó
2	Jericó	Medellín
3	Puerto Berrío	Medellín
4	Medellín	Puerto Berrío
5	Jericó	Rionegro
6	Rionegro	Jericó
7	Rionegro	Medellín
8	Medellín	Rionegro
9	Jericó	Puerto Berrío
10	Puerto Berrío	Jericó
11	Otros recorridos en zonas del Proyecto	

**Fuente:** Elaboración propia

El objetivo del presente documento se orienta a reducir la huella de carbono y los costos de operación generados por el transporte de personal de la empresa minera. Teniendo como objetivos específicos, en primer lugar, un diagnóstico del proceso actual de la operación de transportes de personal. Seguidamente, formular propuestas de mejora para la optimización de recursos que conlleven a la disminución de la huella de carbono y los costos asociados al

Proyecto. Finalmente, cuantificar las ideas de mejoramiento mediante escenarios comparativos y valorizados.

Este informe está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta la revisión de literatura relevante. Posteriormente, la Sección 3 describe brevemente la metodología empleada. La Sección 4 presenta los resultados obtenidos en el análisis y mejoramiento del proceso de transporte. Finalmente, la Sección 5 sintetiza el trabajo a través de las conclusiones obtenidas y las recomendaciones de posibles trabajos futuros.

## **2. Revisión de literatura**

En esta sección se presenta el marco conceptual, donde se exponen los principales conceptos del tema de investigación, el marco teórico, que comprende una profundización de los temas desarrollados en la monografía, y un marco legal, que abarca la normatividad inherente y aplicable a las actividades en estudio.

### **2.1 Marco conceptual**

La huella de carbono es un indicador que mide el impacto sobre el calentamiento global, es la suma de las emisiones causadas directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto. Una de las actividades que más preocupan a las organizaciones y que más impacto negativo causa al medio ambiente es el transporte terrestre que es una actividad entendida como el desplazamiento de objetos, animales o personas de un origen a un punto de destino. [5]

En el proyecto de exploración, la empresa minera realiza sus actividades en sectores rurales donde el acceso y movilización es a través de vías terciarias. Por tal motivo se utilizan vehículos tipo camionetas de tracción 4X4 con combustible Diesel.



El Diesel tiene una mayor eficiencia en relación con subproductos del petróleo, ya que contiene una densidad energética mayor que la bencina (éter de petróleo). También es más económico, al requerir un menor proceso de refinación. Pese a ello, es uno de los combustibles más contaminantes ya que la exposición a las emisiones de diésel afecta principalmente el sistema respiratorio, agravando el asma, alergias, bronquitis, y la función pulmonar. [6]

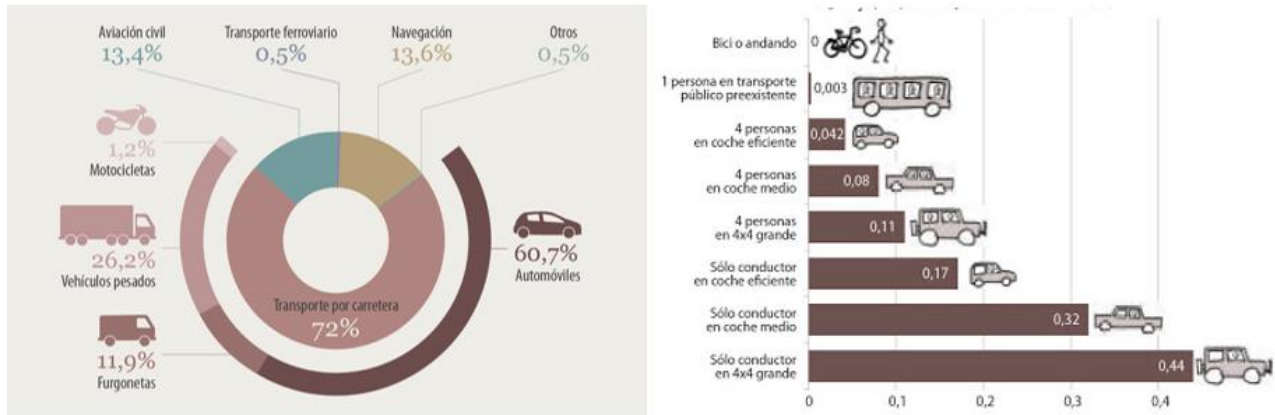
No solo el uso de combustible en los vehículos es un factor contaminante para el medio ambiente sino también los desechos producidos como baterías, llantas, aceites, neumáticos, chatarra y sistemas defectuosos del vehículo, que en su mayoría son denominados residuos peligrosos. Definidos en el Decreto 4741 de 2005, como aquellos “residuos o desechos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas pueden causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos o indirectos, a la salud humana y el ambiente”. Así mismo, se considera residuo peligroso a los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos. [6]

Las organizaciones no solo se deben preocupar por el cuidado en el impacto ambiental sino también en tener un balance en lo económico y financiero, evaluando continuamente sus costos operativos, que es el valor de los insumos que requieren las unidades económicas para realizar su producción de bienes y servicios. De esta misma forma, en relación con el transporte se puede considerar el costo en función del kilometraje, días de trabajo, cantidad de vehículos en operación, número de pasajeros que se movilizan, mano de obra contratada para el servicio, mantenimientos y reparaciones, combustibles y lubricantes, seguridad y medios de comunicación, entre otros.

## **2.2 Marco teórico**

El eje central de esta monografía se resume en dos grandes e interesantes conceptos: La reducción de la huella de carbono y la disminución de los costos operativos de transporte. Estos dos conceptos están directamente relacionados, es decir, que en la medida en que se reduce los costos operativos se puede obtener también una reducción en la huella de carbono, puesto que puede llegarse a representar en una optimización de los recursos para aumentar la eficiencia en las operaciones.

Mucho se ha hablado del calentamiento global y su gran influencia en todas las decisiones políticas, sociales, económicas, industriales, demográficas y culturales. Y es que, es un concepto que abarca muchos temas y estrategias específicas, que para la presente monografía se centrará en el impacto generado por el transporte de personal de la empresa minera. Lo cual es tan sólo un elemento que se desprende de un gran conjunto de causas, pero que sin duda representa una de las variables de mayor impacto en el efecto invernadero. La Figura 3 muestra una claridad de la problemática que se abordará en esta monografía. Básicamente el enfoque de la propuesta de mejoramiento debe puntualizar hacia una optimización de los recursos de transporte que garantiza no solo una disminución en los costos operativos sino también una baja real en el impacto de la huella de carbono. Como puede observarse en la Figura 3, el impacto por persona-km, medido en emisiones de CO2 cambia drásticamente según el modo de transporte y el vehículo empleado.



**Figura 3.** Emisiones de CO2 por tipo de transporte en la Unión Europea en % y kgCO2 por persona-km en modo terrestre.

**Fuente:** Ecologistas en Acción [7]

No obstante, otro tema central es la reducción de los costos operativos, lo cual conlleva a un capítulo de mejoramiento, eficiencia, eficacia y productividad. Básicamente, se propondrán estándares y procesos que ayuden a controlar la operación de manera eficiente, ya que permitirán obtener la mejor disposición de las flotas de transporte; la cual representa el 50% de los costos logísticos en las organizaciones. [9] El estudio de los procesos de transporte y su mejora exigen considerar distintos factores, entre ellos: distancias recorridas, las rutas, el número de personas transportadas, el número de recursos (camionetas, berlinas y buses), los lugares de recogida, las vías primarias, secundarias y terciarias, la normatividad de seguridad vial y los tipos de servicios de transporte.

### 2.3 Marco legal

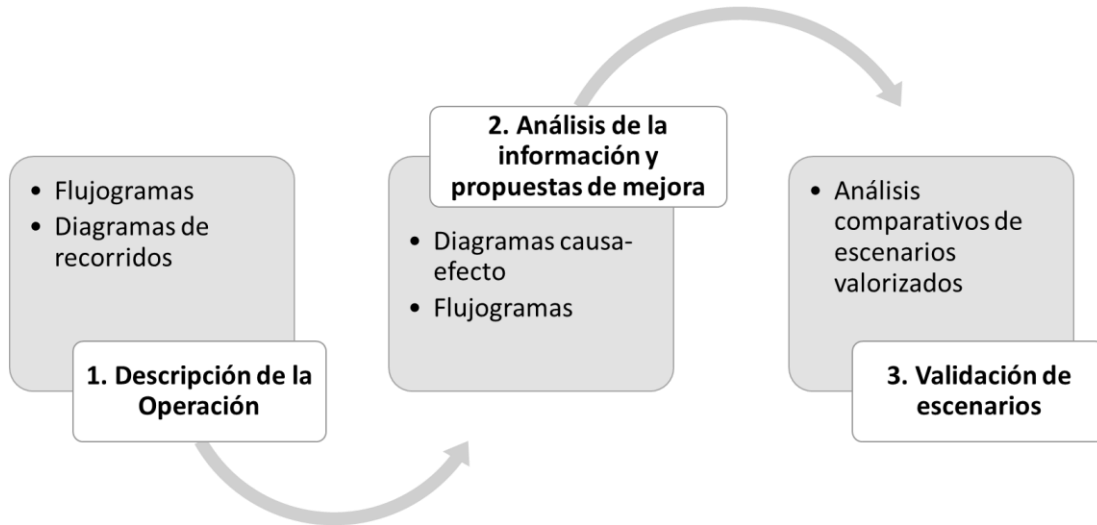
Algunas normas aplicables al objeto de esta monografía son las siguientes:

- Norma Técnica Colombiana 5947 denominada “Especificación para el análisis de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de bienes y servicios”. [10]

- Especificación Normativa Disponible 0069 denominada a “Sistema de gestión ambiental. Huella de Carbono. Requisitos”. [5]
- El decreto 019 de 2012, Capítulo 15, Artículo 52, expresa lo siguiente: “Los vehículos nuevos de servicio particular diferentes a motocicletas y similares, se someterán a la primera revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes a partir del sexto (6°) año contado a partir de la fecha de su matrícula, luego anualmente. Los vehículos nuevos de servicio público, así como motocicletas y similares, se someterán a la primera revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes al cumplir dos (2) años contados a partir de su fecha de matrícula, luego anualmente. Los vehículos automotores de placas extranjeras que ingresan temporalmente y hasta por tres (3) meses al país, no requerirán la revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminante.”
- Decreto número 348 de 2015, por el cual se reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor especial y se adoptan otras disposiciones. Transporte público, transporte privado y actividad transportadora. [11]

### **3. Metodología**

La metodología desarrollada incluyó análisis de tiempos, costos, huella de carbono y diagramas de recorrido de los vehículos en operación; además de una caracterización del actual problema representado en términos estadísticos con algunos indicadores de desempeño. Según la Figura 4, el proceso metodológico se resume en tres etapas principales: Descripción de la operación, análisis de la información y validación de escenarios comparativos.



**Figura 4.** Proceso metodológico de la monografía.

**Fuente:** Elaboración propia

Inicialmente, se describió la operación a partir de un proceso de observación, recolección de información y realización de un flujograma (Etapa 1 de la Figura 4). Posteriormente, en la Etapa 2 se analizó la información recolectada y a través de un diagrama de causa-efecto se identificaron algunas propuestas de mejora. Finalmente, en la Etapa 3 se validaron las propuestas de mejora mediante análisis comparativos de escenarios valorizados.

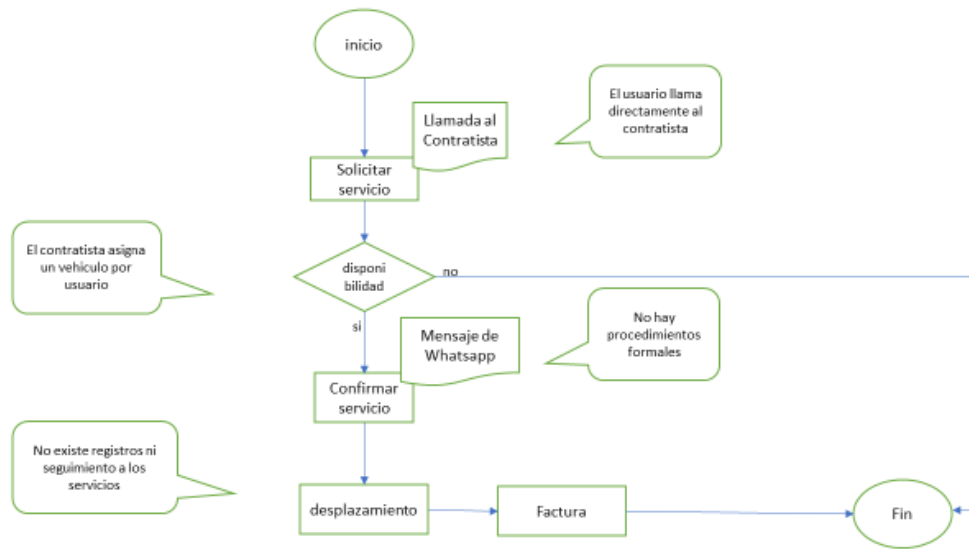
## 4. Resultados

En esta sección se desarrollan los tres principales temas de interés de la presente monografía: Diagnóstico, Análisis y Validación.

### 4.1 Descripción de la operación de transporte de personal

La Empresa Minera cuya fase actual es la Exploración, cuenta actualmente con 250 empleados, que laboran en diferentes puntos geográficos, entre los cuales está la ciudad de Medellín, Jericó, Tarso y La Pintada. Para el desarrollo de sus actividades, tiene tercerizado el servicio de transporte de sus empleados desde Medellín hacia los aeropuertos, viajes intermunicipales y transporte al interior de las zonas del Proyecto.

Analizando la siguiente Figura 5, que indica el diagrama de flujo del proceso, se puede observar que cada usuario solicita el servicio directamente a la empresa contratista de transporte; el contratista asigna un vehículo por solicitud y esta dinámica afecta no sólo el costo de las operaciones, sino que también incrementa la huella de carbono, entendiéndose esta última como el indicador que mide el impacto sobre el calentamiento global.



**Figura 5.** Diagrama de flujo del proceso actual de transporte

**Fuente:** Elaboración propia

De esta forma, se puede evidenciar que es un proceso totalmente descentralizado, con altos reprocesos, ya que los usuarios programan anárquicamente sus actividades y no se tiene un uso eficiente de los recursos.

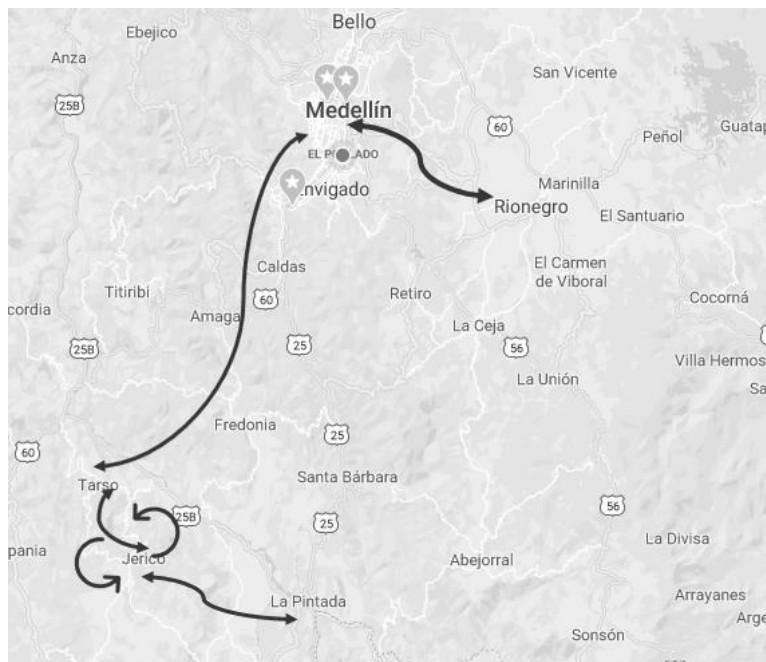
Por otro lado, se tienen caracterizado los servicios de transporte según su ubicación y actividad, por ejemplo, para las personas que viajan entre ciudades y aeropuertos el servicio es denominado **ocasional**, mientras que el transporte destinado a las personas que se movilizan internamente en el proyecto es denominado transporte de **operación**.

Existe un tercer tipo de transporte para áreas de trabajo específicas, a los cuales se les asigna un vehículo en el Proyecto y es denominado **servicio fijo**. Todos los transportes se realizan en camionetas doble cabina 4X4 tanto urbanos, intermunicipales e internos en zona de operación.

#### **4.1.1 Servicio de transporte ocasional**

El servicio ocasional se conoce en la empresa minera como el servicio de transporte que pueden tomar los empleados para ser transportados desde un municipio a otro, entre estos se tienen las siguientes rutas:

- Aeropuerto JMC- Medellín – Aeropuerto JMC
- Medellín- Zona de Operación- Medellín



**Figura 6.** Rutas de transporte definidas en la empresa minera para el transporte ocasional.

**Fuente:** Elaboración propia

Para tomar el servicio, cada usuario llama al responsable de alguna de las empresas contratistas y solicita un vehículo que lo transporte desde el punto de origen al lugar de

destino, dependiendo de las ubicaciones registradas en la Figura 6. En este sentido, no se aprovechan los vehículos al máximo ya que pueden ir varios usuarios en el mismo recorrido pero en vehículos diferentes. Este servicio se podría unificar en una sola camioneta, ahorrando costos de operación, disminuyendo el tráfico tanto de la ciudad como en los sitios de influencia y el impacto medioambiental del servicio.

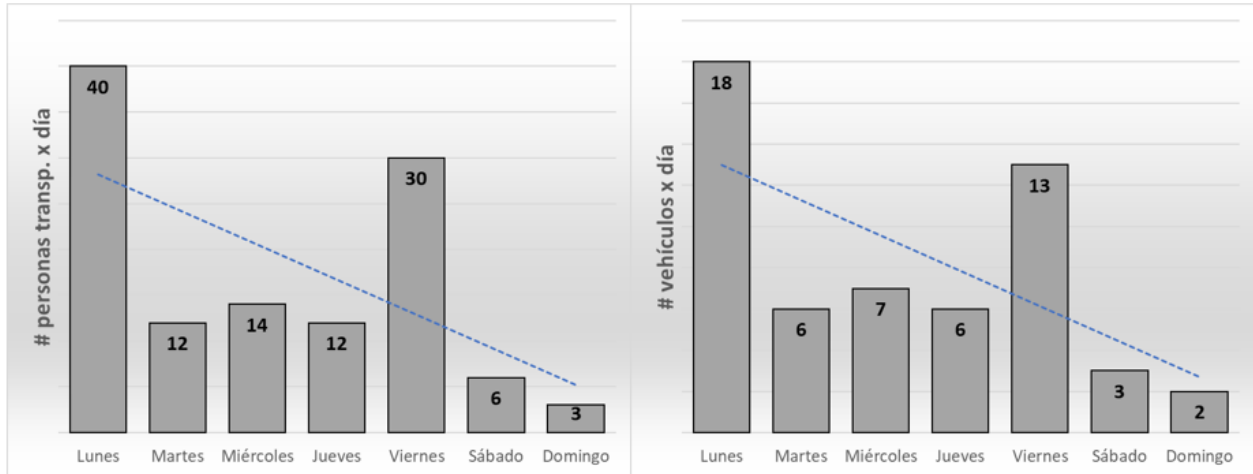
#### **4.1.2 Servicio de transporte operacional**

La zona de operación son los municipios donde se desarrollan actividades como Tarso, Jericó y La Pintada. Para este servicio la empresa ha contratado dos empresas de transporte de servicio especial que suplen las necesidades de los usuarios.

La zona de influencia o de proyecto se refiere a los lugares o municipios donde la empresa desarrolla su actividad de campo, exploración, obras civiles y socialización. En este tipo de servicios se cuenta con vehículos disponibles, durante todo el día, para que se movilice al personal a los diferentes puntos de trabajo y funcionan tipo taxi en dos acopios ubicados en sitios equidistantes a los lugares de trabajo. De esta manera, cada empleado tiene la libertad de ubicar el vehículo más cercano disponible y escoger el lugar de destino dentro de la zona del Proyecto.

La Figura 7 muestra las estadísticas actuales en materia de uso de vehículos por día. En el último semestre se registran 2.715 pasajeros, con un costo asociado de 295 millones de Pesos Colombianos y uso por vehículo de 1.2 personas por recorrido. Como oportunidad de mejora se vislumbra que se puede asignar un centro de atención a solicitudes en las que se definan rutas y horarios establecidos, incluir vehículos tipo microbús y agrupar varios usuarios en un mismo vehículo por recorrido.





**Figura 7.** Número de personas y vehículos promedio transportados por día en el servicio operacional

**Fuente:** Elaboración propia.

En el último semestre se han movilizado un promedio de 80 personas diarias entre los puntos de trabajo con una disponibilidad de 9 camionetas en operación por día. Como oportunidad de mejora se pretende contar con un centro de solicitudes y coordinación de servicios, definir rutas y horarios de transporte, y utilizar vehículos tipo microbús.

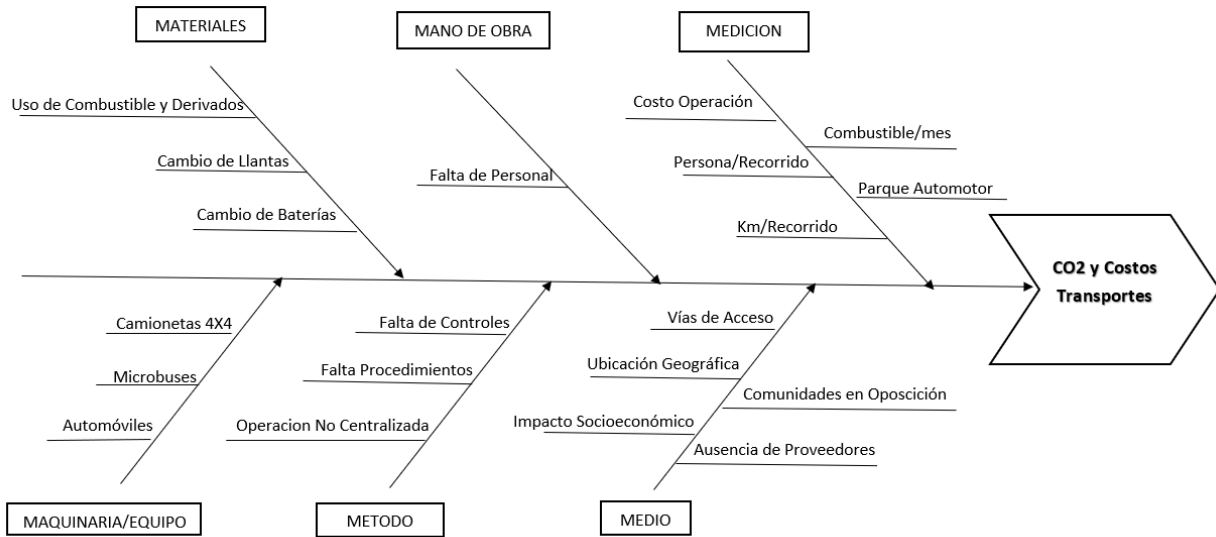
#### 4.1.3 Servicio de transporte fijo

El tercer y último tipo de servicio es denominado servicio fijo y consta de vehículos asignados a personas que por su labor requieren tener el vehículo todo el día disponible y poder trasladarse en los sitios de trabajo.

Durante el último semestre, se tuvo 7 vehículos para realizar esta labor y el promedio de uso es del 40% con una ocupación de 1 pasajero por vehículo aproximadamente. Como oportunidad de mejora se puede contar con un centro de servicios y una planeación de actividades en las que se pueden utilizar los vehículos asociados al tipo de servicio de transporte operacional.

#### 4.1.4 Propuestas de mejora

Una vez analizada la operación, se realizó un diagrama causa efecto para identificar y puntualizar las propuestas de mejora. De esta forma, la Figura 8 resume las variables analizadas en torno al proceso de transporte.



**Figura 8.** Diagrama causa efecto de las variables inherentes al transporte de personal

**Fuente:** Elaboración propia

Adicionalmente, tal como lo muestra la Figura 8, no se cuenta con un centro de solicitudes y planeación de transportes que optimice los recursos con un plan de rutas y recorridos previamente organizados. La falta de estadísticas y registros que midan el uso de los vehículos, la cantidad de personas transportadas y los kilómetros recorridos, dificultan la mejora de este proceso.

Esta dinámica en los transportes genera varios impactos, desde los costos de operación, los traumatismos en las actividades al no contar en ocasiones con vehículos disponibles, el impacto para la movilidad tanto en la ciudad como en los municipios de influencia, y no menos importante, la huella de carbono causada por el consumo de combustibles, desecho de llantas y baterías de los vehículos utilizados.

La ausencia de un centro de servicios que coordine y programe los itinerarios, imposibilita aprovechar mejor los vehículos, ya que cada usuario es libre de llamar al contratista y solicitar o programar su servicio de transporte de manera independiente e individual. Esta dinámica impacta negativamente en los costos de operación de transporte de personal.

En este sentido, como propuestas de mejora se plantea lo siguiente: (i) Contar con un centro de solicitudes y servicios que gestione y coordine las operaciones de transporte ocasional e intermunicipal; (ii) contar con rutas y franjas de horarios para servicios intermunicipales, definir rutas para el servicio de transporte en campo. Y por último, (iii) incluir otro tipo de vehículo como híbridos, buses y busetas.

#### **4.2 Análisis de las propuestas de mejora**

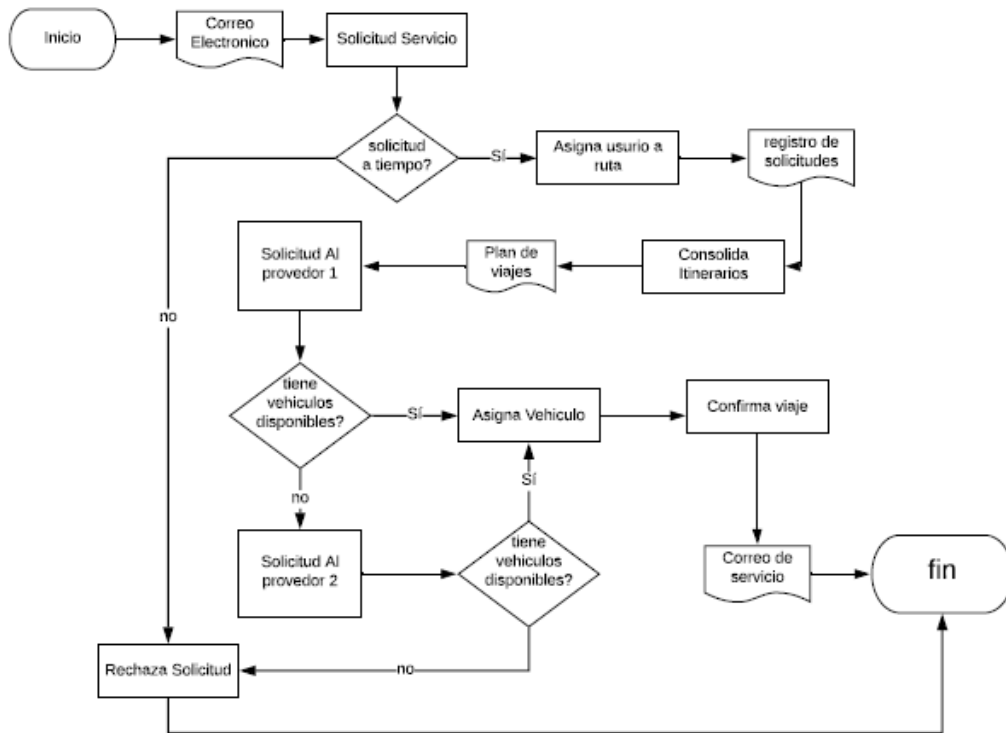
Para analizar y comparar cada una de las propuestas de mejora se analizaron los efectos del transporte de personal en el costo operacional y en las cantidades de CO2 emitidas. A continuación se analizan en términos de estos dos indicadores las distintas alternativas de mejora.

##### **4.2.1 Centro de Servicios**

El Centro de Servicios será el responsable de recopilar todas las solicitudes de servicio de transporte por parte de los usuarios de la compañía y a partir de esta información diseñar las rutas y los planes de viajes, con el fin de aprovechar eficientemente los vehículos contratados para esta operación. Con esta aplicación se pretende ahorrar costos en operación, vehículos en tránsito sobre las vías de influencia del proyecto, como también el impacto al medio ambiente por la emisión de gases contaminantes.

El proceso que se plantea para poner en práctica el Centro de Servicios se describe en la Figura 9. La actividad inicia en una solicitud de servicio por parte de los usuarios a través de

correo electrónico, el operador de servicios recopila esta información y a partir de ella diseñará un plan de viaje acorde a las necesidades de la operación; y será el responsable de hacer las solicitudes a los contratistas como también confirmar a los usuarios la información relacionada con el viaje. Adicionalmente, el Centro de Servicios podrá llevar los registros de la operación, los cuales permitirán medir constantemente la eficiencia en el uso de los recursos.



**Figura 9.** Diagrama de flujo para el Centro de Servicios

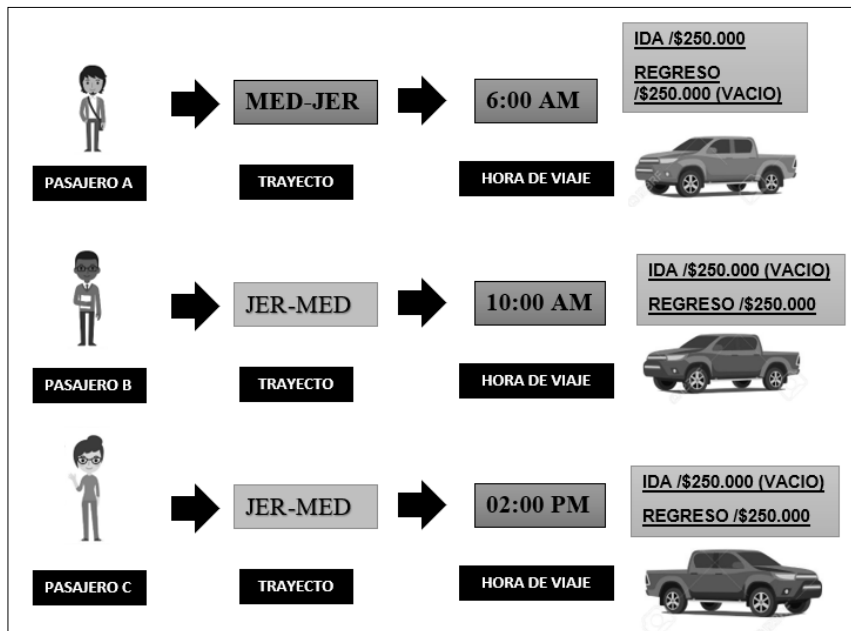
**Fuente:** Elaboración propia

Con esta mejora se plantea una reestructuración del proceso de transporte, buscando como primer objetivo la eficiencia en las operaciones. El Centro de Servicios es una unificación y estandarización de procesos que permite no sólo reducir los costos de transporte sino también permite disminuir el impacto de la huella de carbono.

#### 4.2.1.1 Ejemplo del funcionamiento del Centro de Servicios para un día normal de operación.

En el siguiente escenario se puede comprender las diferencias sustanciales entre la situación actual y las mejoras del Centro de Servicios. La información se presenta en números de viajes, el número de personas transportadas por vehículo, el número de pasajeros, los kilómetros recorridos, los galones de combustibles consumidos, las emisiones de gases de efecto invernadero (en KgCO<sub>2</sub>) y los costos de operación. Con la propuesta de crear un Centro de Servicio se pueden afectar positivamente las variables mencionadas cómo se refleja en las siguientes comparaciones.

La siguiente Figura 10 muestra las actividades normales actuales de un día de operación en el servicio de transporte de personal para un caso específico.

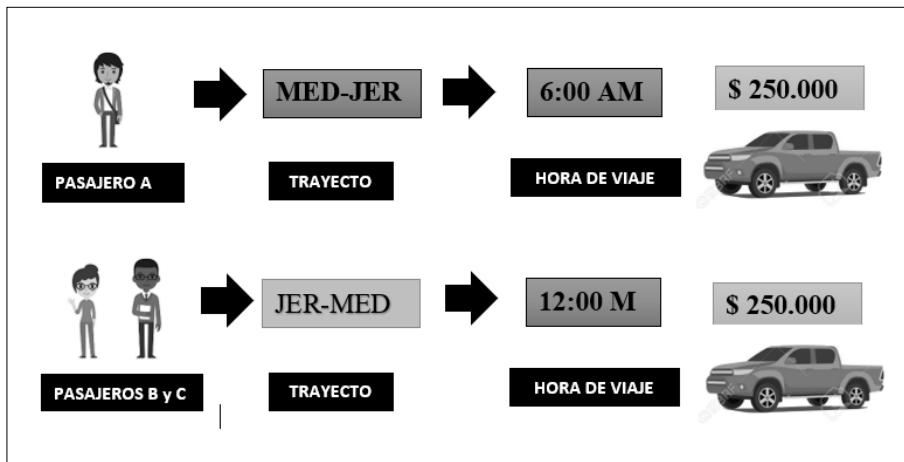


**Figura 10.** Situación actual para un día de operación.

**Fuente:** Elaboración propia

El día dado se tienen 3 usuarios para realizar traslados entre Medellín-Jericó y viceversa, el pasajero A toma un vehículo a las 6 am desde Medellín a Jericó, el pasajero B toma un vehículo a las 10 am desde Jericó a Medellín, lo mismo que el pasajero C con la diferencia que este último viaja a las 2 pm. En total la empresa ha pagado 3 viajes como también ha puesto a rodar 3 vehículos. Esto implica que en todos los casos la camioneta cobra un viaje vacío de \$250.000 sin transportar a ningún empleado.

La siguiente Figura 11 muestra la disposición de los recursos con un Centro de Servicios ejecutado en un día de operación bajo el mismo caso planteado en la escena anterior.



**Figura 11.** Centro de Servicios para un día de operación

**Fuente:** Elaboración propia

Con la implementación del Centro de Servicios, se programa en coordinación con los pasajeros, un sólo vehículo saliendo a las 6 am de Medellín con un usuario, y regresando a las 12 del día con los otros dos pasajeros en el trayecto Jericó-Medellín, de esta sencilla forma se ahorrarían dos servicios. La siguiente Tabla 2 resume el comparativo de un día normal de operación para la propuesta del Centro de Servicios.

**Tabla 2.** Comparativo de un día de servicio de transporte

<i>Item</i>	<b>Actual</b>	<b>Centro serv</b>	<b>Mejora</b>
<i># Pasajeros</i>	3	3	NA
<i>#Prom Persona por vehículo</i>	0.5	1.5	67%
<i># De viajes</i>	6	2	67%
<i># Vehículos en circulación X día</i>	3	1	67%
<i># Kilómetros</i>	780	260	67%
<i># Galones Diesel</i>	20	7	67%
<i># Emisiones KgCO2</i>	198	66	67%
<i>\$ costo operación</i>	1500000	500000	67%

**Fuente:** Elaboración propia

En resumen, se tiene que con la propuesta del Centro de Servicios en un día dado de operación, se tiene una mejora sustancial del 67% de todas las variables medidas en el servicio de transporte. En efecto, esto se debe a la disminución de los viajes por trayecto por persona transportada, de ahí se desprenden todas las mejoras de costo, operación e indicadores ambientales.

#### **4.2.1.2 Impacto del Centro de Servicios para el último trimestre de 2019**

Se ha recopilado la información del último trimestre del año 2019 en cada tipo de servicio que para este caso son servicios intermunicipales, urbanos y de aeropuerto, operacionales, y vehículos fijos. A continuación, se presenta el detalle de la información por mes con su respectiva comparación entre la operación actual y los resultados que se obtendrían al implementar el Centro de Servicios.

La Tabla 3 contiene la información por servicio de las variables en estudio como son: costo de operación, emisiones de CO2 y personas transportadas.

**Tabla 3.** Datos de la operación actual por tipo de servicio para un trimestre de operación

<i>Mes</i>	<b>Pasajeros</b>	<b>Prom Personas X vehículos</b>	<b>Viajes</b>	<b>Prom veh x Día x Serv</b>	<b>Kms</b>	<b>Gal Diesel</b>	<b>Emisiones KgCO2</b>	<b>Costo Operación</b>
<i>Ocasional Intermunicipal</i>	1101	2.5	442	6	57463	1437	14581	110505128
<i>Ocasional Aeropuerto</i>	381	1.4	269	4	16143	404	4096	21523810
<i>Operacional</i>	1386	2.7	513	7	56408	1410	14314	184609524
<i>Fijo</i>	560	1.3	447	6	35752	894	9072	160885714
<b>TOTALES</b>	<b>3428</b>	<b>1.9</b>	<b>671</b>	<b>5.8</b>	<b>165766</b>	<b>4144</b>	<b>42063</b>	<b>477524176</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En síntesis, para un trimestre normal y actual de operación se tiene que el 72% del costo total y de las emisiones, están representadas en el servicio de tipo operacional y fijo en campo. El cual funciona, con camionetas fijas para áreas y camionetas con servicio a demanda según las necesidades del usuario en el proyecto. El 28% restante está representado en los servicios intermunicipales y los servicios aeropuertos.

Por otro lado, con la mejora del Centro de Servicios, tal como se observa en la Tabla 4, el 50% del costo y las emisiones están concentradas en el tipo de servicio operacional. El cual supone un servicio a demanda en la zona de influencia.

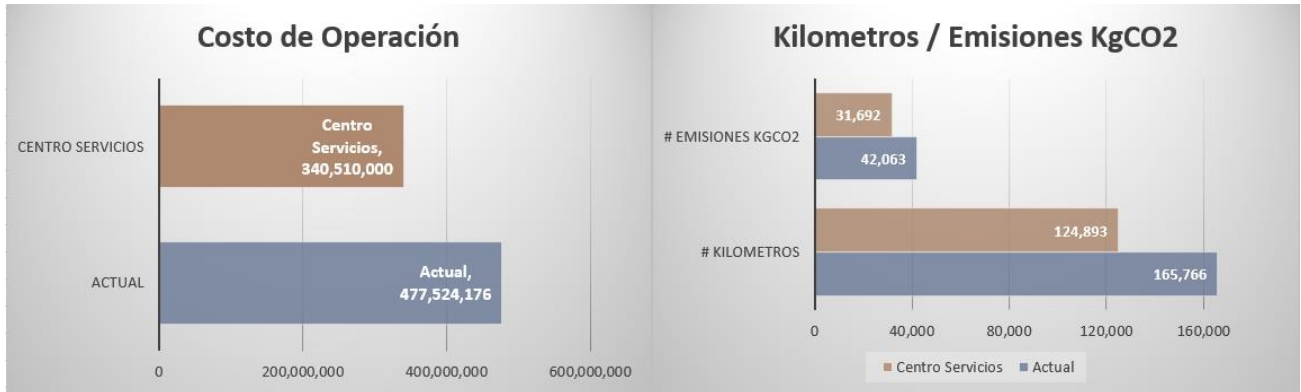
**Tabla 4.** Datos de la operación con el Centro de Servicios por tipo de servicio de transporte

<i>Mes</i>	<b>Pasajeros</b>	<b>Prom Personas X veh</b>	<b>Viajes</b>	<b>Prom veh x Día x Serv</b>	<b>Kms</b>	<b>Gal Diesel</b>	<b>Emisiones KgCO2</b>	<b>Costo Operación</b>
<i>Ocasional Intermunicipal</i>	1101	3	367	5	47710	1193	12106	91750000
<i>Ocasional Aeropuerto</i>	381	2	191	3	11430	286	2900	15240000
<i>Operacional</i>	1386	3	462	6	50820	1271	12896	166320000
<i>Fijo</i>	560	3	187	3	14933	373	3789	67200000
<b>TOTALES</b>	<b>3428</b>	<b>2.8</b>	<b>1206</b>	<b>4.2</b>	<b>124893</b>	<b>3122</b>	<b>31692</b>	<b>340510000</b>

**Fuente:** Elaboración propia



En la siguiente Figura 12 se detallan los costos de operación y emisiones de CO<sub>2</sub>, resultados de la comparación entre la situación actual y la implementación del Centro de Servicios.



**Figura 12.** Comparativos en costos, km y emisiones para el Centro de Servicios

**Fuente:** Elaboración propia

En síntesis, con un Centro de Servicios se logra una reducción del 29 % en el costo de la operación y un 25 % menos de emisiones de gases contaminantes, consumo de combustible y kilómetros recorridos.

#### 4.2.2 Creación de rutas de transporte

La segunda propuesta de mejoramiento se complementa con el Centro de Servicios. Básicamente consiste en la creación de rutas de transporte de acuerdo con la cantidad de personas que soliciten un servicio. El objetivo primordial de esta estrategia es utilizar la capacidad máxima de los recursos (camionetas) por cada ruta o trayecto.

En la Tabla 5 se puede ver el comparativo de un escenario con creación de rutas de cada servicio, a partir de los resultados obtenidos en la propuesta de mejora del Centro de Servicios.

**Tabla 5.** Comparativo de # de viajes y costos con la creación de rutas por tipo de servicio.

Tipo Servicio	# de Viajes Actual	# de Viajes Rutas	Costo Actual	Costo Rutas	Emisiones Actuales	Emisiones Rutas	% mejora Emisiones y Costo
<b>Intermunicipal</b>	442	367	110505128	91750000	14581	12106	17%
<b>Aeropuerto</b>	269	191	21523810	15240000	4096	2900	29%
<b>Operacional</b>	513	462	184609524	166320000	14314	12896	10%
<b>Fijo</b>	447	187	160885714	67200000	9072	3789	58%
<b>TOTALES</b>	<b>1671</b>	<b>1207</b>	<b>477524176</b>	<b>340510000</b>	<b>42063</b>	<b>31692</b>	<b>29%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Bajo esta modalidad de creación de rutas de transporte se logra una reducción de cerca del 30% en el costo total del transporte de personal. Por su parte, en el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, bajo el panorama de creación de rutas de transporte, se logra una reducción del 25% pasando de una emisión de 42.063 a 31.692 KgCO<sub>2</sub>. Esto a su vez se relaciona de manera directamente proporcional en la cantidad de galones consumidos y kilómetros recorridos.

### 4.2.3 Incluir nuevos tipos de vehículos

Esta propuesta de mejora incluye dos actividades puntuales: incorporación de buses de capacidad de 15 pasajeros para el tipo de servicio ocasional intermunicipal y la utilización de vehículos eléctricos en el tipo de servicio de aeropuerto.

#### 4.2.3.1 Buses con capacidad de 15 pasajeros para viajes intermunicipales

Esta propuesta de mejora sólo está enfocada en el tipo de servicio ocasional intermunicipal, ya que se logra identificar unas tendencias de viajes de usuarios en la misma franja horaria y en la misma ruta. Los siguientes datos en la Tabla 6 muestran los resultados de realizar un comparativo con la implementación de una buseta en el tipo de servicio ocasional intermunicipal.

**Tabla 6.** Comparativo de emisiones de KgCO2 y costos para creación de rutas.

<i>Tipo de Servicio</i>	<i>Mes</i>	<i>Pasajeros</i>	<i>Emisiones Actuales</i>	<i>Emisiones Nuevas</i>	<i># de Viajes</i>	<i># de Viajes Nuevos</i>	<i>Costo Actual</i>	<i>Costo Busetas</i>	<i>% Mejora Emisiones y Costos</i>
<b>Ocasional Intermunicipal</b>	Octubre	448	4926	1970	149	45	37333333	13440000	64%
	Noviembre	289	3178	1271	96	29	24083333	8670000	64%
	Diciembre	364	4002	1601	121	36	30333333	10920000	64%
<b>TOTALES</b>		<b>1101</b>	<b>12106</b>	<b>4842</b>	<b>366</b>	<b>110</b>	<b>91749,999</b>	<b>33030000</b>	<b>64%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Bajo este panorama, se tiene reducción del 64% en el costo de este servicio intermunicipal. Pero también a su vez hay una reducción importante en el costo total de la operación (17%). Adicionalmente, con la mejora del bus intermunicipal se logra una reducción superior al 60% en las emisiones de CO2 para el rubro de Ocasional Intermunicipal.

#### 4.2.3.2 Vehículos eléctricos para viajes ocasionales de aeropuerto

En la actualidad se están analizando un vehículo híbrido KIA que tiene rendimientos de 75 km/gln. Este tipo de mejora sólo aplica para transporte en ciudad y aeropuerto(ver Tabla 7), ya que no está diseñado para las exigencias en las actividades de las operaciones en campo. Por esto se plantea la mejora sólo para el tipo de servicio Ocasional Aeropuerto.

**Tabla 7.** Comparativo de emisiones KgCO2 para la implementación de vehículos eléctricos

	<b>#Diesel Actual</b>	<b>#Diesel nuevos</b>	<b># Emisiones KgCO2</b>	<b># Emisiones KgCO2 Nuevos</b>	<b>Ahorro # Emisiones KgCO2</b>
<b>Ocasional Intermunicipal</b>	1193	477	12106	4843	60%
<b>Ocasional Aeropuerto</b>	286	152	2900	1547	47%
<b>TOTAL</b>	<b>3122</b>	<b>2273</b>	<b>31692</b>	<b>23074</b>	<b>27%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Según la Tabla 7 se puede ver que se mejora en un 47% las emisiones y el consumo de galones diesel en la utilización de los vehículos híbridos en el tipo de servicio Ocasional Aeropuerto

y si pudiese agregar al transporte Ocasional Intermunicipal se tendría una reducción del 60%. Lo cual también suma a una reducción total de las emisiones del 27% en todo el proceso del transporte de personal para esta propuesta de mejora de incluir otro tipo de vehículos.

### 4.3 Comparación de las propuesta de mejora

#### 4.3.1 Reducción en huella de carbono

La siguiente Tabla 8 muestra las mejoras de los índices en materia de kilómetros recorridos y sus incidencias en otros factores importantes de huella de carbono.

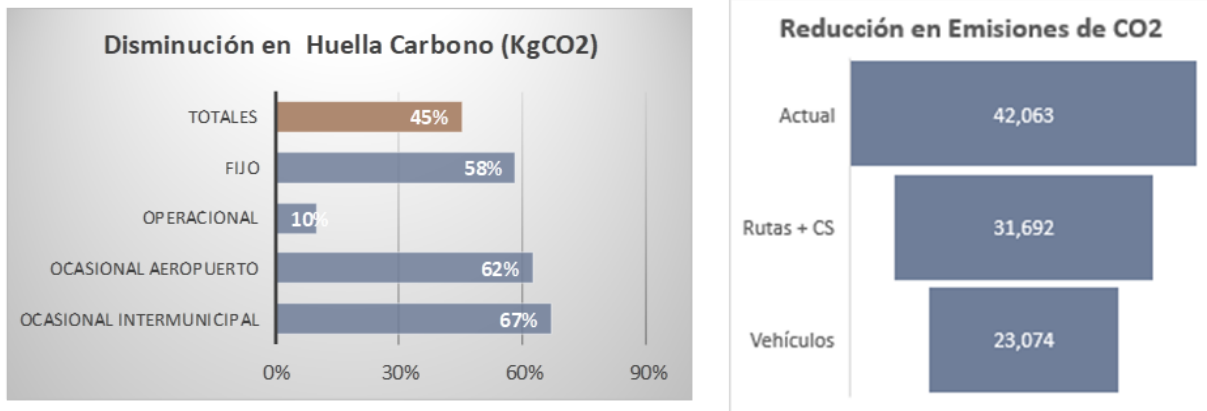
**Tabla 8.** Comparativos de mejora en huella de carbono

<i>Tipo de Servicio</i>	<b>prom Personas por Veh</b>	<b>Personas por Veh cambio</b>	<b># de Viajes</b>	<b># de Viajes nuevos</b>	<b>Prom Veh por día</b>	<b>Prome Veh Nuevos</b>	<b># Kms</b>	<b># Kms Nuevos</b>	<b>% Mejora</b>
<i>Ocasional Intermunicipal</i>	3	10	442	110	6	2	57463	14313	75%
<i>Ocasional Aeropuerto</i>	1	2	269	191	4	3	16143	11430	29%
<i>Operacional</i>	3	3	513	462	7	6	56408	50820	10%
<i>Fijo</i>	1	3	447	187	6	3	35752	14933	58%
<b>TOTALES</b>	<b>1.9</b>	<b>4.5</b>	<b>1671</b>	<b>949</b>	<b>5.8</b>	<b>3.3</b>	<b>165766</b>	<b>91496</b>	<b>45%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En general, aplicando las tres propuestas de mejora para los siguientes indicadores: kilómetros recorridos, número de personas transportadas por vehículo, número de viajes y promedio de vehículos por día en operación, se tiene una reducción del 45%.

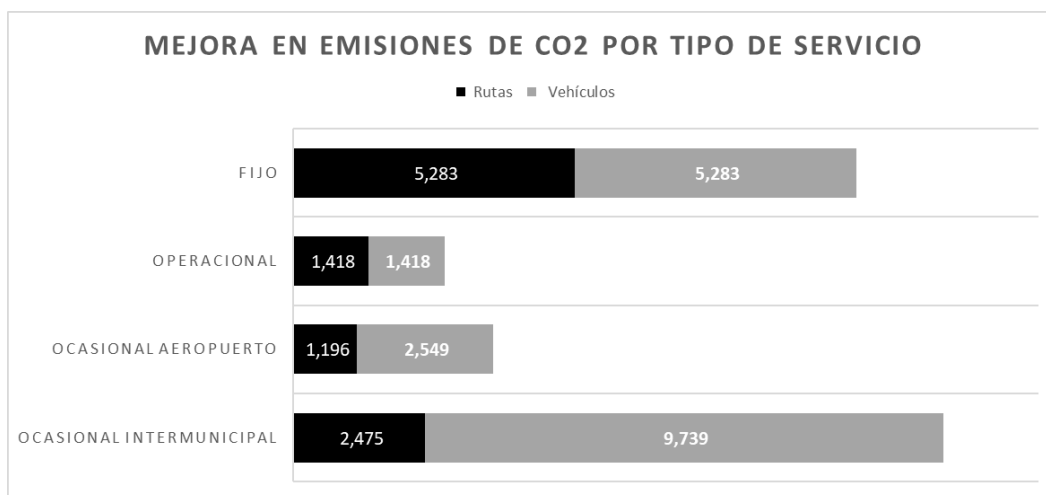
Esta disminución en materia de kilómetros recorridos incide de manera directamente proporcional en las emisiones de CO<sub>2</sub>. La siguiente Figura 13 muestra la huella de carbono medida en emisiones de KgCO<sub>2</sub> por tipo de servicio.



**Figura 13.** Disminución de huella de carbono por tipo de servicio y propuesta de mejora  
**Fuente:** Elaboración Propia

En síntesis se tiene una reducción de la huella de carbono del 45%. Específicamente, con las propuestas planteadas se logra pasar de un consumo de combustible diésel de 4144 a 2273 galones y en emisiones de CO2 se reduce de 42063 a 23074 KgCO2. Esto se debe en gran parte a la mejora en la eficiencia de las operaciones con el Centro de Servicios y a la propuesta de los vehículos híbridos en los servicios de aeropuerto.

La Figura 14 muestra los resultados altamente positivos obtenidos en las emisiones de CO2 por tipo de servicio.

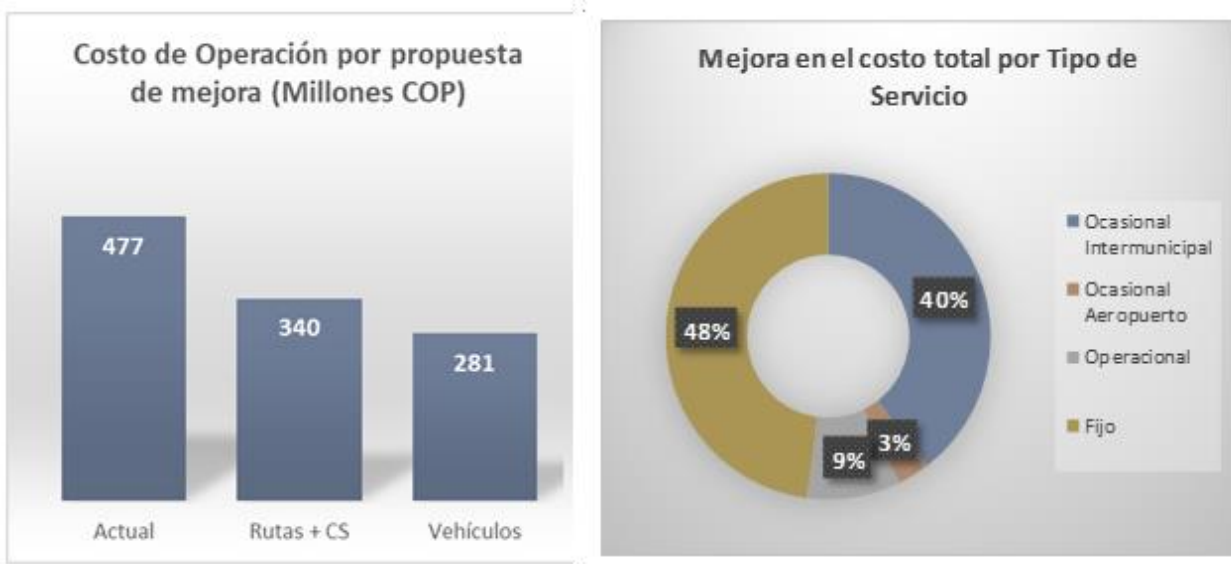


**Figura 14.** Mejora en emisiones de CO2 por tipo de servicio  
**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 14, la propuesta de mejora en vehículos, efectivamente, sugiere una disminución sustancial en las emisiones de CO2 para los servicios tipo Fijo y Ocasional Intermunicipal, ya que, por ejemplo en este último se pasa de utilizar de 6 a 2 vehículos por día (se reemplazan las camionetas de 4 pasajeros por un bus de 15 usuarios).

#### 4.3.2 Reducción en los costos de operación

Con las propuestas de mejora planteadas se logra obtener una reducción de costos por operación de transporte de personal, en todos los tipos de servicio. A continuación la Figura 15 muestra los costos por cada tipo de servicio.



**Figura 15.** Comparativo de costos totales por propuesta de mejora y tipo de servicio de transporte (Millones COP)

**Fuente:** Elaboración propia

En síntesis, se tiene una mejora del 41% en el costo total de la operación de transporte por la implementación de las tres propuestas de mejora. Adicionalmente, se nota una mejora

sustancial en el servicio tipo fijo, debido a la utilización eficiente de los recursos, y en el intermunicipal por la definición o creación de rutas de transporte.

## **5. Conclusiones**

La dinámica del transporte de personal en la actualidad ejecutada por la empresa minera impacta negativamente aspectos como el costo de operación, la movilidad y el medio ambiente (emisiones de gases de efecto invernadero). Estos impactos se pueden mitigar con ideas de mejora como la implementación de un centro de servicios, la creación de rutas y franjas horarias, y la inclusión de diferentes tipos de vehículos que se ajusten a las necesidades de operación y que amplíen la cantidad de pasajeros transportados.

En este sentido, validando y comparando estas propuestas mejora (centro de servicios, rutas y vehículos) en los escenarios de operación actuales, se pueden observar resultados muy positivos en cuanto al ahorro en costos de operación, el cual alcanza una mejora alrededor del 40%, y es producido significativamente por la creación de un centro de servicios y rutas de transporte definidas, ya que de esta manera se pueden aprovechar mejor los vehículos dedicados a la operación.

Pequeños cambios generan grandes resultados, y eso se puede ver en la inclusión de un vehículo híbrido para los recorridos intermunicipales, aliviando de manera significativa el impacto causado al medio ambiente por emisiones de gases contaminantes. En general, con las propuestas de mejora, se reduce casi a la mitad el total de emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de transporte de personal.

Por otro lado, no solo estas propuestas desarrolladas conllevan a resultados positivos; existen otras ideas de mejora, no menos importantes, que sumarían beneficios inmediatos, tanto en materia financiera como en los aspectos medio ambientales. Dentro de estas ideas

se pueden destacar las siguientes, así como también algunas actividades que se podrían profundizar en estudios futuros del transporte de personal en empresas mineras. Entre otras, (i) desarrollar una aplicación móvil que integre la información relacionada con el servicio, para mejorar el uso de los recursos y el flujo de información. (ii) Realizar otras medidas de factores contaminantes como el uso de llantas, baterías, y aceites. Así mismo, (iii) definir procedimientos para el manejo y disposición final de residuos peligrosos (aceites, baterías y llantas) generados en el transporte de personal del proyecto minero. Por otro lado, (iv) definir procedimientos y protocolos que busquen la estandarización para el uso de transporte y (v) desarrollar un programa de control de contratación y seguimiento a proveedores para crear una cultura de cuidado del medio ambiente y optimización de recursos. Finalmente, (vi) realizar un plan de implementación para las propuestas de mejora analizadas en este informe.

## **6. Agradecimientos**

Agradecimientos al profesor Juan Guillermo Villegas, asesor temático de este proyecto, quien nos dio todo el soporte técnico y aportó todo su conocimiento para desarrollar esta monografía.

Igualmente, agradecemos a Gloria Milena Osorno, quién fue nuestra asesora metodológica y estuvo siempre acompañándonos en todo el proceso de desarrollo monográfico.

Y finalmente, un agradecimiento especial a nuestras familias por tener ese grado de paciencia y apoyo incondicional durante la cuarentena del COVID19, para estar en modo teletrabajo, clases y reuniones virtuales durante la elaboración de este estudio.



## 7. Referencias

- [1] ICMM, «International Council on Mining & Metals,» [En línea]. Available: <https://www.icmm.com/es/metals-and-minerals/la-funcion-de-los-metales-en-la-sociedad/metales-en-la-sociedad>. [Último acceso: 5 May 2020].
- [2] G. B. Mundial, «Banco Mundial,» 2019. [En línea]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?view=map>. [Último acceso: 5 May 2020].
- [3] Minenergía, «Asociación Nacional de Industriales,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.andi.com.co/Uploads/20%20Carolina%20Rojas.pdf>. [Último acceso: 5 September 2019].
- [4] R. Semana, «Semana Sostenible,» 22 March 2019. [En línea]. Available: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/mala-calidad-del-aire-y-del-agua-mata-a-mas-17000-personas-al-ano-en-colombia/43414>. [Último acceso: 15 August 2019].
- [5] K. Feijóo, «Aclimate Colombia,» 29 April 2014. [En línea]. Available: <http://www.aclimatecolombia.org/huella-de-carbono/>. [Último acceso: 10 November 2019].
- [6] E. Chile, «Aprende Con Energia,» [En línea]. Available: <https://www.aprendeconenergia.cl/diesel/>. [Último acceso: 05 November 2019].
- [7] Minambiente, «Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales,» 30 December 2005. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCIÓN+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTIÓN+INTEGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705>. [Último acceso: 15 November 2019].
- [8] E. e. Acción, «Ecologistas en Acción,» 1 June 2007. [En línea]. Available: <https://www.ecologistasenaccion.org/20911/transporte-y-cambio-climatico/>. [Último acceso: 15 November 2019].
- [9] J. P. Rodrigue, «The Geography of Transport Systems,» 2020. [En línea]. Available: [https://transportgeography.org/?page\\_id=6517](https://transportgeography.org/?page_id=6517). [Último acceso: 13 May 2020].
- [10] ICONTEC, «NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5947,» 21 November 2012. [En línea]. Available: <https://drive.google.com/file/d/0BxiAuTKx-14HNEJXWDRIb3J3T28/view>. [Último acceso: 15 November 2019].
- [11] Mintransporte, «Ministerio de Transporte de Colombia,» 25 February 2015. [En línea]. Available: <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO%20348%20DEL%2025%20DE%20FEBRERO%20DE%202015.pdf>. [Último acceso: 15 November 2019].
- [12] PNUD, «Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo,» [En línea]. Available: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>. [Último acceso: 15 November 2019].