

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Herramientas para la toma de decisiones en la gestión de la flota vehicular de la  
Unidad de Transportes de la Sede Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica”**

María Sofía Morales Fallas

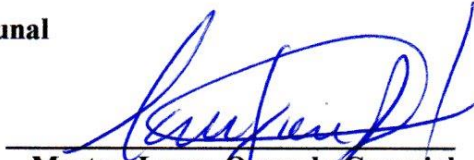
CARTAGO, NOVIEMBRE, 2018




**“Herramientas para la toma de decisiones en la gestión de la flota vehicular de la Unidad de Transportes de la Sede Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica”**


Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

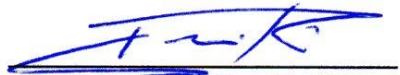
**Miembros del tribunal**

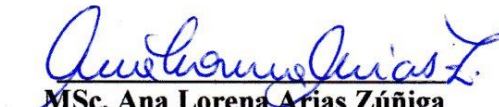
  
Master. Laura Quesada Carvajal  
Director

  
Lic. Natalia Bonilla Gámez  
Lector 1

  
Lic. Alina Rodríguez Rodríguez  
Lector 2

  
MSc. Diana Zambrano Piamba  
Coordinador COTRAFIG

  
PhD. Floría Roa Gutiérrez  
Directora Escuela de Química

  
MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga  
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental



## **DEDICATORIA**

“La adversidad tiene el don de despertar talentos y virtudes que en la comodidad hubieran permanecido dormidos.”

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por apoyarme en todo momento, buenos, malos, estresantes y divertidos de lo que ha sido esta maratón llamada tesis.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica, la Escuela de Química y la Carrera de Ingeniería Ambiental por darme no solo educación de calidad sino una experiencia que me ha hecho retarme, conocerme, reinventarme y conocer a personas que voy a llevar en el corazón toda la vida.

A la profe Laura, por toda la paciencia, mucha paciencia y la guía en todo este proceso e incluso por la atención en los momentos en que conversábamos de la vida y el presente. Realmente he terminado siendo una mejor persona.

A don Carlos, el coordinador de la Unidad de Transportes, por siempre tener la puerta abierta y la actitud para ayudarme de la mejor manera.

A la Ing. Alina Rodríguez y el Ing. Carlos Meza, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo.

A los Ingenieros Natalia Bonilla y Arturo Steinvorth de CEGESTI, por la guía brindada durante este proceso.

A Naiz, por acompañarme en momentos de frustración y de triunfo. Y arrancarme risas en los momentos precisos.

A mi coach Geovanny por todo el apoyo y enseñanzas para dar el 110% tanto en la bici como en el estudio.

A Allan Delgado del Taller 4 en línea por el apoyo incondicional que me ha dado tanto en la bici como en la realización de mi trabajo final de graduación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
1.1 <i>Objetivos</i>	10
1.1.1 Objetivo general	10
Proponer herramientas que consideren variables ambientales en la adquisición y asignación de vehículos de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR.	10
1.1.2 Objetivos específicos	10
<b>2. Revisión de literatura</b>	<b>11</b>
2.1 <i>Cambio climático y efecto invernadero</i>	11
2.1.1 Huella de Carbono	12
2.2 <i>Contexto Nacional</i>	12
2.2.1 Iniciativas a nivel país	14
2.3 <i>Impacto ambiental de las flotas vehiculares</i>	15
2.4 <i>Importancia de establecer una línea base para facilitar la gestión de la flota.</i>	17
2.4.1 Caracterización de la flota vehicular	19
2.5 <i>ASPECTOS POR CONSIDERAR en la adquisición en flotas vehiculares</i>	19
2.6 <i>Criterios ambientales en la selección de vehículos</i>	20
2.7 <i>Eficiencia energética y sostenibilidad en flotas vehiculares</i>	21
2.8 <i>Gestión de combustible en una flota de transporte por carretera</i>	22
2.9 <i>Selección del transporte acorde al servicio a realizar</i>	23
<b>3. Metodología</b>	<b>25</b>
3.1 <i>Definición de la Línea Base de la flota vehicular de la Unidad de transportes de la Sede Central ITCR</i>	25
3.1.1 Cálculo del rendimiento de combustible para cada vehículo y en promedio para tipo de vehículos	26
3.2 <i>Identificación de la metodología actual de adquisición de la Unidad de Transportes</i>	28
3.2.1 Aspectos ambientales por considerar en la adquisición de vehículos	28

3.3	<i>Propuesta de asignación de unidades por ruta</i>	28
<b>4.</b>	<b>Resultados y discusión</b>	<b>29</b>
4.1	<i>Definición de la línea base de la unidad de transportes de la Sede central del itcr</i>	29
4.1.1	Composición de la flota vehicular	29
4.1.2	Rendimiento en el consumo de combustible de la flota	34
4.1.3	Rutas más frecuentes realizadas por la unidad de transportes	38
4.1.4	Asignación de vehículos por ruta	40
4.1.5	Resumen de la línea base	41
4.2	<i>Adquisición de vehículos en el ITCR</i>	43
4.2.1	Identificación de la metodología de adquisición de vehículos de la Unidad de Transportes	43
4.2.2	Aspectos ambientales por considerar en la adquisición de vehículos	45
4.3	<i>Propuesta de asignación de vehículos por ruta</i>	49
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>55</b>
	<b>Apéndice 1: Visualización de la interfaz de la hoja de cálculo</b>	<b>57</b>
	<b>Anexo 1: Límites de los contaminantes regulados en las Normas euro para vehículos livianos de pasajeros</b>	<b>59</b>
	<b>Anexo 2: Cronograma de aplicación de estándares de emisiones para costa rica</b>	<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>Referencias</b>	<b>61</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Relación del Efecto Invernadero y el Cambio Climático.....	11
Figura 2.2 Definición de Carbono neutralidad .....	12
Figura 2.3 Porcentaje de emisiones de CO <sub>2e</sub> en Costa Rica por sector analizado en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. ....	13
Figura 2.4 Porcentaje de emisiones de CO <sub>2eq</sub> de los subsectores dentro del sector energético. .....	13
Figura 2.5 Línea de tiempo de acciones para mitigar el cambio climático y disminuir la generación de GEI. ....	14
Figura 2.6 Tipos de emisiones generadas por los vehículos de combustión interna durante su uso.....	16
Figura 2.7 Fuentes de información de las cuales se pueden obtener las características de la flota vehicular. ....	19
Figura 2.8 Consideraciones técnicas a incluir en la adquisición de vehículos en función de las necesidades a cumplir. ....	20
Figura 2.9 Áreas estratégicas para mejorar la eficiencia energética del transporte terrestre. .....	22
Figura 2.10 Aspectos a considerar en la gestión de combustible en flota. ....	23
Figura 3.1 Mapa de la ubicación de la Unidad de Transportes en las instalaciones de la Sede Central del ITCR. ....	25
Figura 4.1 Pirámide de edades de la flota vehicular de la Unidad de Transportes. ....	33
Figura 4.3 Diagrama del proceso de asignación de vehículos por ruta .....	40
Figura 4.4 Diagrama de flujo del proceso de evaluación de licitaciones en la adquisición de vehículos del ITCR.....	44
Figura 4.5 Esquema de la propuesta de adquisición de vehículos para el ITCR.....	48
Figura 4.6 Esquema del nuevo Proceso de asignación para la selección de vehículos según el viaje a realizar.....	51
Figura 4.7 Proceso de asignación del transporte compartido de 6 o 7 personas. ....	52
Figura 4.8 Asignación bajo criterio del coordinador .....	52



## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 2.1 Gases generados durante el uso de vehículos por la combustión de hidrocarburos. .....	17
Cuadro 4.1. Composición de la flota vehicular de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR. ....	31
Cuadro 4.2 Consumo de combustible de la flota según el tipo de vehículo.....	35
Cuadro 4.3 Rendimiento en el consumo de combustible, cilindrada y edad de los vehículos doble tracción. ....	36
Cuadro 4.4 Rendimiento en el consumo de combustible y cilindradas de los automóviles. 37	
Cuadro 4.5 Características de las 10 rutas más frecuentes realizadas por la Unidad de Transporte.....	38
Cuadro 4.6 Resumen de los aspectos de la línea base de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR .....	42
Cuadro 4.7 Criterios ambientales a incluir como criterios de adjudicación y sus medios de acreditación.....	46
Cuadro 4.8 Requisitos de garantías mínimas a considerar en la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos en general. ....	47

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AEGFA	Asociación Española de Gestores de Flotas Automóviles
CA	Centro Académico
CEDEVI	Centro de Desarrollo Virtual
CEGESTI	Fundación Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CH <sub>4</sub>	Metano
CMMCH	Centro Mario Molina Chile
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático
CO	Móxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CO <sub>2e</sub>	Dióxido de Carbono equivalente
CONARE	Consejo Nacional de Rectores
COPs	Conferencia de las Partes
EPA	Environmental Protection Agency
GASEL	Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
HC	Hidrocarburos
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
N <sub>2</sub> O	Óxido de Nitrógeno
NMCH	Hidrocarburos No Metanos
O <sub>3</sub>	Ozono
P <sub>10</sub>	Partículas menores a 10 micrómetros
P <sub>2.5</sub>	Partículas con diámetros menores a 2.5 micrómetros
PM	Masa de partículas
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
RTCA	Reglamentos Técnicos Centroamericanos
RTV	Revisión Técnica Vehicular
SESLab	Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad
TtW	Tank to Wheels
UCR	Universidad de Costa Rica
UT	Unidad de Transportes
WtT	Well to Tank

## RESUMEN

El inventario de gases elaborado en el 2017 por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), identificó que, del total de dióxido de carbono generado por el uso de combustible en su Sede Central, la Unidad de Transportes emitió un 74%. Con el objetivo de disminuir este porcentaje y contribuir con la meta de carbono neutralidad de la Institución, se definió la situación inicial de la flota, de la cual se estableció su composición y su consumo de combustible; se propuso una nueva metodología de asignación de vehículos en función de las características de cada servicio y de los rendimientos de consumo de combustible y; finalmente se llevó a cabo una revisión bibliográfica para establecer los criterios ambientales a incluir en un nuevo modelo de adquisición de vehículos, considerando tanto los vehículos de combustión interna, así como los híbridos y los eléctricos. Producto de esta investigación, se identificó que la flota está compuesta por 32 vehículos, de los cuales 4 son híbridos no enchufables y 28 son de combustión interna, con rendimientos de 9.17 hasta 14.26 l/100 km. Además, se propuso un nuevo modelo de adquisición para evaluar el desempeño e impacto ambiental del vehículo durante su uso, mediante criterios como el consumo energético, la emisión de CO<sub>2</sub> eq y las normas Euro o Tier de los vehículos. Por último, se integró la distancia del viaje en la asignación, que permite considerar los datos de consumo de combustible individual del software de seguimiento institucional, para brindar una lista por orden de eficiencia de las unidades con la capacidad de cubrir las necesidades y condiciones requeridas por el viaje.

**Palabras clave:** Herramientas, Gestión Vehicular, Emisión de CO<sub>2</sub> eq, Consumo de Combustible, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Unidad de Transportes

## **ABSTRACT**

The inventory of gases prepared in 2017 by the Technological Institute of Costa Rica (ITCR), identified that, of the total carbon dioxide generated using fuel in its Headquarters, the Transportation Unit issued 74%. In order to reduce this percentage and contribute to the carbon neutrality goal of the institution, the initial situation of the fleet was defined, from which its composition and fuel consumption were established; A new vehicle allocation methodology was proposed based on the characteristics of each service and the fuel consumption performance and; Finally, a literature review was carried out to establish the environmental criteria to be included in a new vehicle acquisition model, considering both internal combustion vehicles, as well as hybrids and electric vehicles. Because of this investigation, it was identified that the fleet consists of 32 vehicles, of which 4 are non-pluggable hybrids and 28 are internal combustion, with outputs from 9.17 to 14.26 l / 100 km. In addition, a new acquisition model was proposed to evaluate the performance and environmental impact of the vehicle during its use, through criteria such as energy consumption, CO<sub>2</sub> emission and the Euro or Tier standards of the vehicles. Finally, the distance of the trip was integrated into the allocation, which allows the individual fuel consumption data of the institutional monitoring software to be considered, to provide a list in order of efficiency of the units with the capacity to meet the needs and conditions required. for the trip.

**Key words:** Tools, Vehicle Management, CO<sub>2</sub> Emission, Fuel Consumption, Technological Institute of Costa Rica, Transportation Unit.



## 1. INTRODUCCIÓN

La principal fuente antropogénica de CO<sub>2</sub> a nivel global es la producción de energía mediante el uso de combustibles fósiles, siendo este el gas de efecto invernadero (GEI) que más se genera incidiendo directamente en el cambio climático. En el caso de Costa Rica, el sector Transporte genera a un 54% de las emisiones netas de CO<sub>2</sub>, y de este porcentaje un 41% proviene de automoviles particulares, siendo un área crítica a mejorar para alcanzar la meta país de la carbono neutralidad (Chacón, Jiménez, Jhonny, Sasa, & Blanco, 2012)(Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, 2016).

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) se ha sumado a esta iniciativa al buscar obtener la certificación de carbono neutralidad para la Sede Central ubicada en Cartago, utilizando el 2017 como año base. Dicho estudio identificó que las emisiones de CO<sub>2</sub>eq originadas por el uso de combustible corresponden a un 22% de las emisiones totales de la Sede Central, donde la flotilla de transportes aporta el 74 % (Mejías-Elizondo, 2018).

Actualmente, la Unidad de Transportes de la Sede Central aplica políticas de transporte compartido en ciertos viajes y adquirió algunos vehículos con tecnologías eficientes para disminuir su huella de carbono, sin embargo, no considera el desempeño ambiental ni la eficiencia energética en la adquisición de vehículos, ni aspectos para disminuir el uso de combustible durante la operación de las unidades.

La literatura menciona diferentes métodos de ahorro de combustible en transporte público de pasajeros y transporte de carga terrestre, sin embargo, hay una falta de información en flotas corporativas. Entre las principales medidas para este sector, se menciona la aplicación de diagnósticos energéticos para identificar oportunidades de mejora, el uso de tarjetas de combustible para regular su consumo, la homogenización de flotas y la planificación de rutas por medio de softwares especializados.

La investigación optó por aplicar medidas de gestión de combustible entre las que se destaca la renovación de flotas considerando el rendimiento de los vehículos y su asignación por ruta en función de las necesidades a cumplir y su desempeño ambiental. Con esto se busca disminuir el consumo de combustible para reducir su huella de carbono con medidas que no requieran una inversión inicial alta, así como aprovechar los recursos existentes en la Institución.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Proponer herramientas que consideren variables ambientales en la adquisición y asignación de vehículos de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR.

### 1.1.2 Objetivos específicos

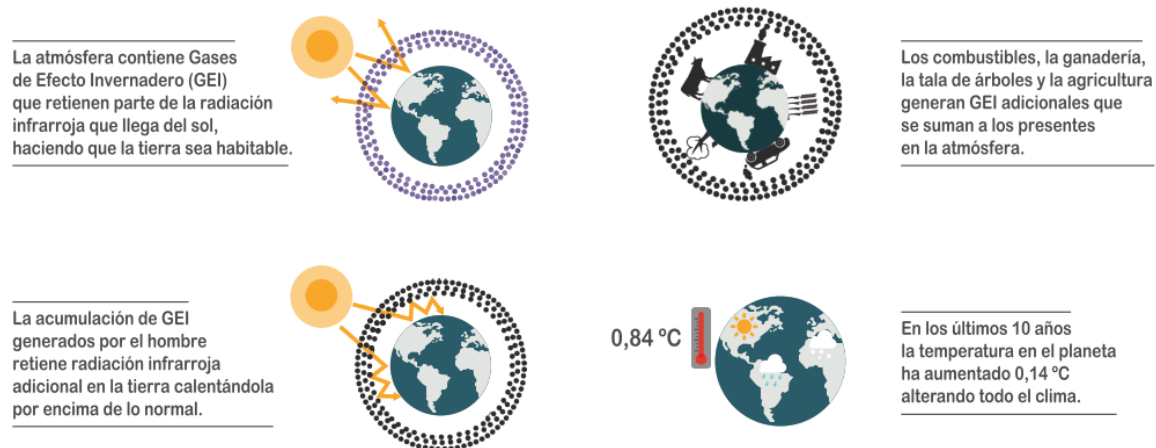
- Establecer la línea base de composición, rendimientos y metodologías de selección de vehículos aplicadas en la flota vehicular de la Sede Central del ITCR.
- Plantear los criterios de adquisición de vehículos de la Unidad de Transporte.
- Proponer criterios para seleccionar el tipo de vehículo más eficiente según la ruta a realizar por la Unidad de Transporte.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y EFECTO INVERNADERO

El cambio climático es la modificación del estado del clima de una región que persiste por un período prolongado, típicamente décadas o más. Este puede ser provocado por la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007a).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra como el cambio climático es producido por la alteración de un proceso natural como el efecto invernadero, teniendo consecuencias directas en la temperatura del planeta.



**Figura 2.1 Relación del Efecto Invernadero y el Cambio Climático.**  
(Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minería de Argentina, 2017)

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2017) (USEPA por sus siglas en inglés) los GEI a los que hace referencia la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** corresponden al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el vapor de agua, el metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los gases fluorados.

El  $\text{CO}_2$  sería el principal GEI emitido por el ser humano (USEPA, 2017), siendo el mayor porcentaje de estas emisiones producido por el sector de energía, específicamente por la quema de combustibles fósiles para su producción (IEA, 2016).

Estos gases producen cambios en la temperatura del planeta que provocan alteraciones del clima que incluyen eventos extremos como precipitaciones intensas más frecuentes, sequías prolongadas y el aumento en el nivel del mar. Todo esto deriva en impactos irreversibles para personas y ecosistemas (IPCC, 2014).



### 2.1.1 Huella de Carbono

La huella de carbono es la medida de la cantidad de emisiones totales de GEI producidas directa o indirectamente por personas, organizaciones, productos o eventos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018). Se mide en toneladas o kilogramos de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ) (Mangia Amagua, 2017).

La Carbono Neutralidad se obtiene cuando la huella de carbono es igual a cero. Su cálculo se muestra en Figura 2.2 Definición de Carbono neutralidad.

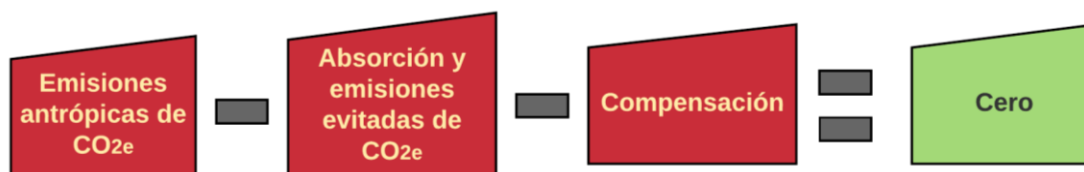


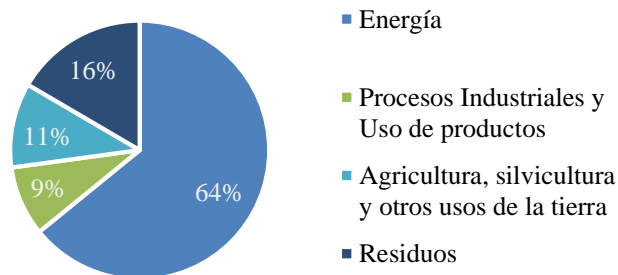
Figura 2.2 Definición de Carbono neutralidad

El balance igual a cero se obtiene al aplicar medidas de reducción en la fuente y en caso de no reducir la totalidad de las emisiones, se aplican acciones de compensación como la compra de certificados de carbono o también medidas de absorción a través de proyectos forestales. En esencia, un producto o servicio Carbono Neutral tiene un impacto cero en el ambiente (Ministerio de Ambiente, 2009).

## 2.2 CONTEXTO NACIONAL

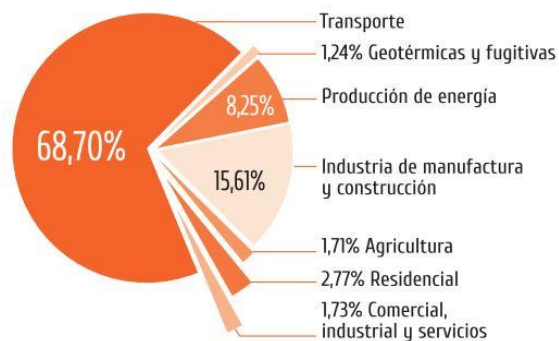
El cambio climático es uno de los mayores desafíos que ha enfrentado la humanidad. Sus consecuencias son globales y acumulativas a pesar de que las causas sean diferentes en cada país (Ministerio de Ambiente, 2009).

Con el fin de identificar las diferentes causas de la generación de  $CO_{2eq}$  en Costa Rica, el Inventario nacional de GEI y absorción de carbono (2012) ha dividido por categorías las fuentes de emisión, estas se representan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se muestra que el sector energía es el que aporta mayor cantidad de emisiones de  $CO_{2eq}$ .



**Figura 2.3 Porcentaje de emisiones de CO<sub>2e</sub> en Costa Rica por sector analizado en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero.**

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que el sector energético es una de las áreas a mejorar, pese a contar con recursos renovables en la generación de energía. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta su división en subsectores, de los cuales el 68.7% de las emisiones es producido por el transporte terrestre.



**Figura 2.4 Porcentaje de emisiones de CO<sub>2eq</sub> de los subsectores dentro del sector energético. (Chacón et al, 2012).**

El sub-sector transporte sería la principal fuente de CO<sub>2eq</sub> al representar un 54% de las emisiones netas a nivel nacional, donde un 41% de este porcentaje proviene de automóviles particulares. Se estima que para el año 2015 el parque vehicular generó 1.332.540 toneladas de gases contaminantes (Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, 2016).

Sumado a esto, Costa Rica ha presentado un crecimiento significativo de su flota vehicular los últimos 20 años que coincide con el deterioro de la calidad del aire. Esto evidencia una renovación inadecuada de la flota y una correlación entre la antigüedad de los vehículos y la contaminación. Según estadísticas de la Revisión Técnica Vehicular (RTV), para el año 2017 la flota nacional presentaba una edad promedio de 16 años (Steinvorth, 2015)(Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, 2016).

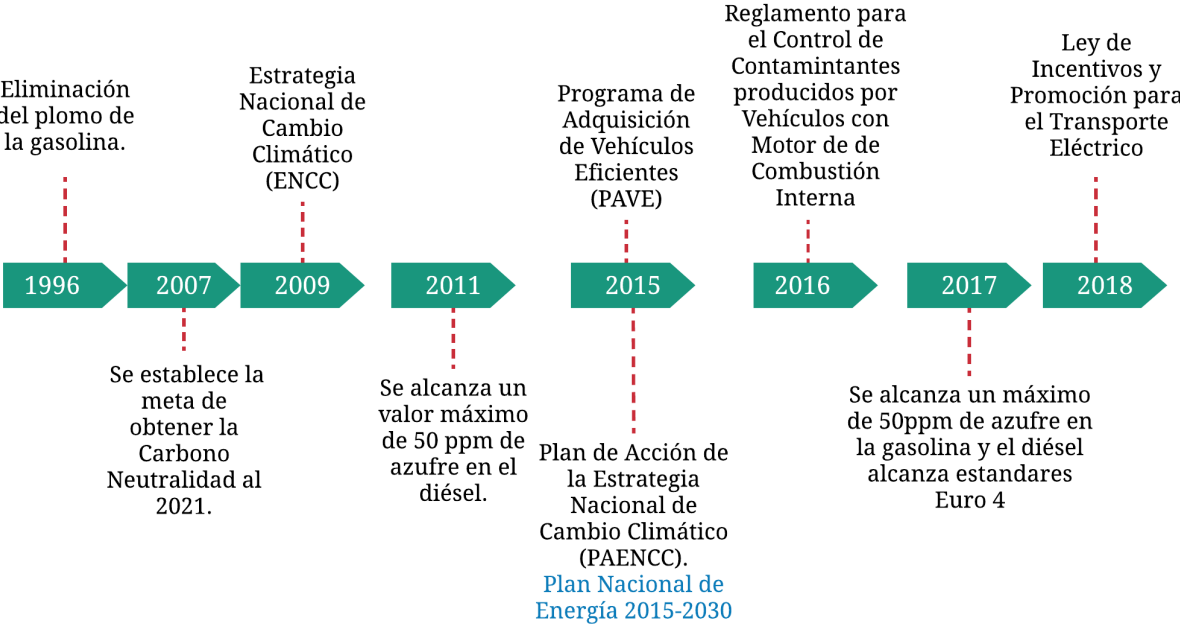
Esto convertiría al subsector transporte en un área crítica por su dependencia del uso del petróleo, el ineficiente consumo de energía y la antigüedad de la flota (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015).

**2.2.1 Iniciativas a nivel país**

Costa Rica ha participado en diferentes acuerdos e iniciativas internacionales para disminuir la generación de GEI. Incluyendo la ratificación del protocolo de Kioto, la firma de la Convención Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático (CMNUCC) y las múltiples asistencias en las Conferencias de las Partes (COPs) (Calderón, 2016; Granados & Madrigal, 2014).

La cooperación de Costa Rica en estos convenios ha incentivado acciones a nivel nacional para mitigar el cambio climático, en la que se destaca la Oficialización del Programa País Carbono Neutralidad 2.0, que busca adaptarse al Acuerdo de París. Bajo este programa se regulan todos los lineamientos y documentos a presentar para obtener la certificación de carbono neutralidad a nivel organizacional y cantonal (Asamblea, 2018).

Así mismo se han presentado otras iniciativas relacionadas al sector transporte, las cuales se presentan en la Figura 2.5.



**Figura 2.5** Línea de tiempo de acciones para mitigar el cambio climático y disminuir la generación de GEI.

La Figura 2.5 incluye la evolución en la calidad del combustible, el cual es el primer paso para incorporar tecnologías más limpias y eficientes. Actualmente el país tiene el mejor de Centroamérica, mejorando los estándares de los Reglamentos Técnicos Centroamericanos (RTCA), los cuales establecen parámetros de calidad que no son aptos para vehículos más eficientes en consumo de combustible; pues regulan parámetros físicoquímicos con niveles de azufre, densidad y periodos de inducción, entre otros, incompatibles con estas tecnologías (Contraloría General de la República, 2018; Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), 2017).

Las normas aplicadas en el país para regular la calidad de los combustibles son la norma INTE E1: 2016. Combustibles. Gasolina RON 91, RON 95 y sus mezclas con etanol carburante anhidro desnaturalizado y la norma INTE E3:2017. Diésel y sus mezclas con biodiésel. Estas sustentan en las normativas Euro 4, Tier y ASTM e incluso regulan parámetros de la norma Euro 6 (Contraloría General de la República, 2018; Refinería Costarricense de Petróleo, 2017).

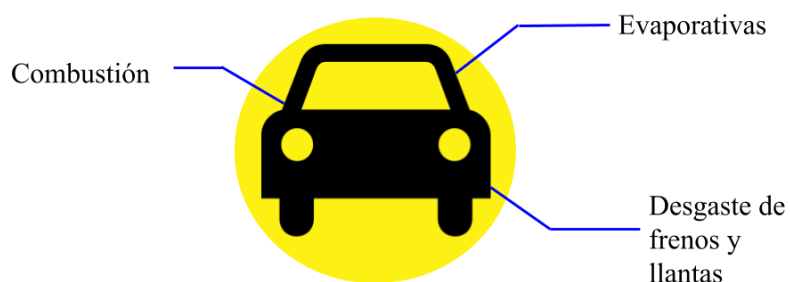
A partir de este punto, se han aplicado mecanismos de renovación de flotas como: la obligación de estándares de control de contaminantes Euro o Tier a los vehículos que ingresan al país, por medio del Reglamento para el Control de Contaminantes producidos por Vehículos con Motor de Combustión Interna, los plazos de aplicación de estos controles se presentan en el Anexo 2; además se ha facilitado la adquisición de vehículos eficientes por medio de la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico, la cual exonera de impuestos a los vehículos eléctricos y el Programa de Adquisición de Vehículos Eficientes (PAVE) que brinda mejores condiciones de crédito en los vehículos definidos por el MINAE (Asamblea Legislativa República de Costa Rica, 2016; Steinvorth, 2015).

### 2.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LAS FLOTAS VEHICULARES

Los impactos ambientales de diferentes combustibles y tecnologías vehiculares pueden ser evaluados mediante la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Messagie, Boureima, Coosemans, Macharis, & Mierlo, 2014). Este considera la energía, materiales y emisiones de GEI de un producto o servicio desde la extracción de su materia prima, producción, manufacturación, uso y disposición (Ma, Balthasar, Tait, Riera-Palou, & Harrison, 2012).

El ACV considera diferentes etapas para determinar las emisiones de un vehículo, estas son: “Tank to Wheels (TtW)” que considera la etapa de uso, en la cual se genera la mayor cantidad de emisiones, “Well to Tank (WtT)” que incluye la producción, transporte y distribución del combustible y finalmente el ciclo de vida del vehículo, que considera la producción de sus materias primas, la manufactura, la distribución de los componentes, el mantenimiento a lo largo de su vida útil y la disposición final (Ma et al., 2012).

Los vehículos de combustión interna producen tres tipos de emisiones contaminantes durante su uso en la etapa TtW (Sánchez, Green, Orjuela, & Klakamp, 2013), las cuales se presentan en la Figura 2.6.



**Figura 2.6 Tipos de emisiones generadas por los vehículos de combustión interna durante su uso.**

Las emisiones de los contaminantes procedentes del desgaste de los neumáticos, la fricción y re-suspensión son bastante menores que las de combustión, sin embargo, la polvorización del material en la superficie empeora la calidad del aire y al ser independientes del uso del motor, se presentan en todos los tipos de vehículos, incluidos los eléctricos (Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña, 2015).

Las emisiones producidas por la combustión de hidrocarburos son influidas por la edad, el kilometraje recorrido durante la vida útil, el tipo de combustible y las tecnologías de emisión instaladas (Wang, Jeong, Zimmerman, Healy, & Evans, 2018). Cabe destacar que estas tecnologías no disminuyen directamente la emisión del CO<sub>2</sub>. El ahorro de combustible sería la medida para reducir su generación (Kopfer, Schönberger, & Kopfer, 2014).

Estas emisiones se dividen en contaminantes criterio y GEI, los cuales se especifican en el Cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1 Gases generados durante el uso de vehículos por la combustión de hidrocarburos.**

<b>Contaminantes Criterio</b>	<b>Gases de Efecto Invernadero</b>
Partículas suspendidas con diámetros menores a 10 y 2.5 micrómetros (P <sub>10</sub> , P <sub>2.5</sub> )	gases fluorados
monóxido de carbono (CO)	metano (CH <sub>4</sub> )
dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	óxido nitroso(N <sub>2</sub> O)
compuestos orgánicos volátiles (COV)	

Los contaminantes criterio son nocivos y con efectos negativos para animales, plantas y personas al estar relacionados con enfermedades cardiovasculares, pulmonares como asma y cáncer (Briceño, Herrera, Solórzano, Beita, & Rojas, 2015).

Además se caracterizan por crear efectos que inciden en el cambio climático como la formación de Ozono superficial (O<sub>3</sub>), GEI y contaminantes secundarios por medio de reacciones fotoquímicas en presencia de luz solar (Briceño et al., 2015).

En general, la magnitud de los costos sociales y ambientales están determinados por el consumo de combustible, la selección del vehículo, el kilometraje recorrido y el modo de conducción (Montag, 2015).

#### 2.4 IMPORTANCIA DE ESTABLECER UNA LÍNEA BASE PARA FACILITAR LA GESTIÓN DE LA FLOTA.

La línea base es una herramienta que brinda un conjunto de evidencias y apreciaciones sobre la situación inicial, así como del contexto que interviene, de manera que esa información pueda compararse con los cambios logrados en análisis posteriores (Generalitat Valenciana, 2016).

La determinación de la situación inicial es uno de los procedimientos para realizar los diagnósticos energéticos de flotas de transporte. Los contenidos que debe incluir se presentan a continuación y se basan en los documentos Diagnóstico Energético Integral en las flotas vehiculares de la administración (2015) y Diagnósticos y planes energéticos en el transporte de carga para pequeños transportistas y hombres- camión en México (2014) estos sería:

- Número, características y tipo de vehículos que integran la flota vehicular.

- Descripción de los recorridos más comunes por tipo de servicio.
- Consumos de combustible por tipo de vehículo y servicio.
- Distancias recorridas por tipo de vehículo y servicio.
- Elaboración de la gráfica denominada “pirámide de edades de la flota vehicular”.
- Presentación gráfica de los rendimientos de combustible, por tipo de vehículo y servicio.
- Presentación gráfica de los costos de combustibles y mantenimiento, por tipo de vehículo y servicio.
- Identificación de necesidades de transportación por área.
- Identificación de fallas más comunes de las unidades y principales problemas del mantenimiento vehicular.
- Identificación de costos operación (combustible y mantenimiento) del parque vehicular
- Descripción de un sistema utilizado en la organización que le permita generar reportes sobre consumo de combustible por tipo de vehículo, año modelo, así como los rendimientos de combustible.

La línea base sería la herramienta para identificar la política de flota o fleet policy, la cual puede no estar escrita. Esta comprende todo lo referente a la normativa del uso de vehículos, el tipo de vehículo a utilizar según la necesidad, procesos de solicitud de unidades, e incluso la normativa de gestión de combustible (Asociación Española de Gestores de Flotas Automoviles (AEGFA), 2014).

### 2.4.1 Caracterización de la flota vehicular

La caracterización es un tipo de descripción cuantitativa o cualitativa que profundiza el conocimiento sobre un tema. En una investigación, identifica los componentes, acontecimientos, actores, procesos y contexto de una experiencia, un hecho o un proceso para estudiarlos y establecer su significado (Centro de Desarrollo Virtual (CEDEVI), 2010). Para obtener esta información, existen varias fuentes de información las cuales se mencionan en Figura 2.7.



Figura 2.7 Fuentes de información de las cuales se pueden obtener las características de la flota vehicular.

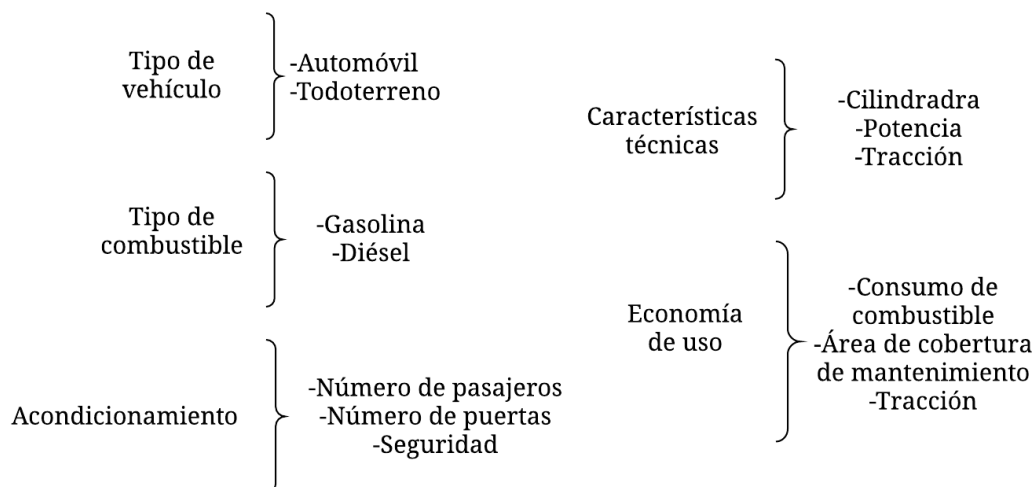
## 2.5 ASPECTOS POR CONSIDERAR EN LA ADQUISICIÓN EN FLOTAS VEHICULARES

El primer aspecto por considerar en la adquisición es la capacidad de los vehículos para cumplir con las necesidades de los servicios en los que se emplearán. (Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2015).

Las necesidades deben ser previamente especificadas para establecer las características técnicas que se presentan en la Figura 2.8 y evitar la compra de vehículos sobredimensionados que generen un mayor consumo de combustible. Estos requerimientos



técnicos serían parte de los criterios de selección en la adquisición (Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña, 2015).



**Figura 2.8 Consideraciones técnicas a incluir en la adquisición de vehículos en función de las necesidades a cumplir.**

Los criterios de la Figura 2.8 junto con las condiciones de uso como: el tipo de itinerario, el factor de tiempo de empleo, kilometraje por recorrer, condiciones externas del relieve y las condiciones de carretera definen las características buscadas en los vehículos por ruta. (Martínez, 2010).

Adicionalmente, las empresas deberían contar con una política de renovación que establezca los períodos de reemplazo en términos de kilometraje recorrido, antigüedad o por ambas, incluso pueden ser desarrollados por medio de experiencia o análisis de costo que consideren la depreciación del vehículo, el costo de mantenimiento y el costo por consumo de combustible, propiciando una revisión anual de la flota ((GIZ), 2014; Ramírez, 2014).

## 2.6 CRITERIOS AMBIENTALES EN LA SELECCIÓN DE VEHÍCULOS

Los primeros países en aplicar criterios ambientales en el desempeño de vehículos fueron Estados Unidos al crear las normas TIER y los países miembros de la Unión Europea (UE) mediante las normas EURO (Lah, 2015).

Las normas EURO contemplan diferentes parámetros para mejorar la eficiencia energética de los vehículos de combustión. Según la última actualización (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2007), estos serían:

- Masa de monóxido de carbono (CO mg/km)

- Masa de hidrocarburos (HC mg/km)
- Masa de óxidos de nitrógeno (NOx mg/km)
- Masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (HC+NOx mg/km)
- Masa de partículas (PM mg/km)
- Hidrocarburos no metanos (NMCH mg/km)

Estas políticas junto con el establecimiento de metas de emisión de CO<sub>2</sub>, son la principal medida de la UE para reducir las emisiones en vehículos particulares durante la etapa de TtW en el ACV (De Wilde & Kroon, 2013).

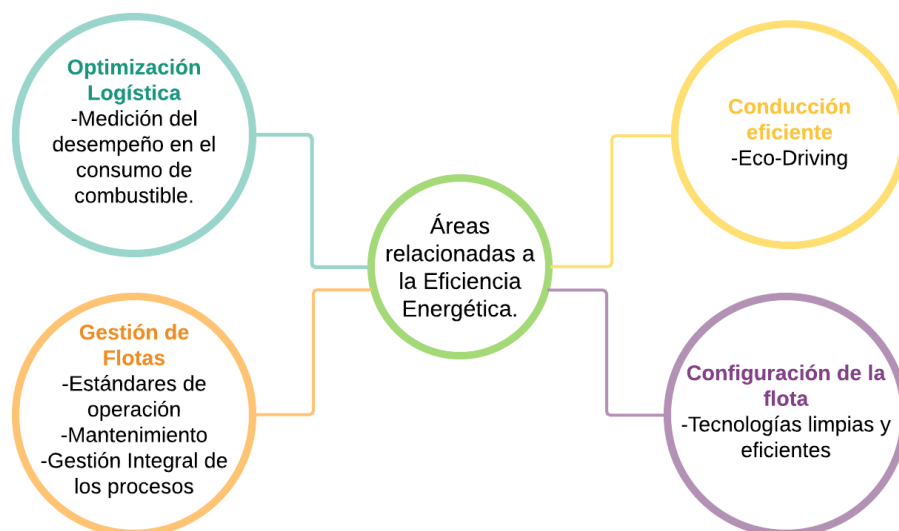
La Guía para la Compra Verde de Vehículos de la Dirección de Calidad Ambiental de Cataluña establece que, para medir el impacto energético y ambiental en una adquisición, debe considerarse al menos el consumo de combustible, las emisiones de CO<sub>2</sub> y las emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y NMCH y PM; estas últimas se pueden deducir de la norma Euro del motor.

Costa Rica a partir del 2018, restringió el ingreso de vehículos que no cumplieran con la norma Euro 4 o Tier II como mínimo por medio del Decreto Ejecutivo n.º 39724-MOPT-MINAE-S.

## 2.7 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN FLOTAS VEHICULARES

La eficiencia energética es la capacidad de utilizar una menor cantidad de energía para realizar un servicio o una actividad. Esta se logra ejecutando acciones para emplear la energía de manera óptima reduciendo costos, incrementando la competitividad, la calidad de vida y limitando la producción de GEI (Mangia Amagua, 2017).

La mejora de estándares de consumo de energía y sostenibilidad son aspectos clave en la eficiencia energética del transporte por carretera. Villalobos & Wilmsmeier en su artículo Estrategias y herramientas para la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte de carga por carretera (2016), mencionan cuatro dimensiones o áreas estratégicas para trabajar estos aspectos, las cuales se presentan en la Figura 2.9.



**Figura 2.9** Áreas estratégicas para mejorar la eficiencia energética del transporte terrestre.

Estas áreas representan un rol fundamental del sector público en el impulso de los cambios necesarios en el desarrollo integral del sector transporte de los países y requieren un trabajo integral que involucre personas, procesos, tecnologías e infraestructura (Villalobos & Wilmsmeier, 2016).

## 2.8 GESTIÓN DE COMBUSTIBLE EN UNA FLOTA DE TRANSPORTE POR CARRETERA

La optimización logística involucra la medición de las operaciones de transporte de carretera en términos de consumo de combustible y aplicada junto con una gestión del combustible permite aprovechar de la manera más rentable cada litro, contribuyendo no sólo a la economía de la empresa, sino también al ahorro energético y a la mejora de la conservación del medio ambiente (Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2015; Villalobos & Wilmsmeier, 2016).

La gestión del combustible abarca las operaciones presentadas en la Figura 2.10 las cuales buscan el máximo aprovechamiento de la flota (Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2015).



**Figura 2.10 Aspectos a considerar en la gestión de combustible en flota.**

Adicionalmente, el seguimiento del consumo de combustible a nivel global e individual en estas áreas, permite monitorear sus avances y detectar anomalías para facilitar la toma de decisiones para el aprovechamiento del potencial vehicular (Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2015; Ramírez, 2014).

## 2.9 SELECCIÓN DEL TRANSPORTE ACORDE AL SERVICIO A REALIZAR

La contribución de los costos de combustible respecto a los costos totales de operación varía según la naturaleza de la flota, sin embargo, ronda el 28% de los costos operacionales en un vehículo de combustión, por lo que cualquier reducción o mejora en la eficiencia operativa puede mejorar el balance final. Además, esta reducción de consumo tiene incidencia directa en la disminución de las emisiones a la atmósfera, sobre todo las que tienen relación con el cambio climático.

De ahí la importancia de mejorar y vigilar las operaciones de la flota como la asignación correcta de los vehículos a emplear según el servicio (Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2015; Ramírez, 2014).

El consumo de combustible durante la operación del vehículo depende de varios factores como la distancia, la topografía, el tráfico, el modo de conducción, las condiciones del camino, la presión de los neumáticos, la velocidad y la aceleración (Kopfer et al., 2014). La asignación de vehículos debe contemplar estas condiciones.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) (2006) menciona en su Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte que es preferible potenciar tanto los conductores más económicos como los vehículos con menor consumo en las rutas más largas, siempre y cuando sus características cumplan los requerimientos del viaje. Dejando los vehículos con mayor consumo en las rutas más cortas.

Para identificar el rendimiento de los vehículos para tomar decisiones que contemplen la eficiencia, debe monitorearse el kilometraje(odómetro), la cantidad de combustible, la placa y el conductor por cada ruta que brinde la unidad (Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2015).

### 3. METODOLOGÍA

La investigación fue realizada en la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR, la cual se encuentra ubicada dentro de sus instalaciones en la provincia de Cartago, específicamente en el cantón Cartago, entre los distritos Oriental y Dulce Nombre, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



**Figura 3.1** Mapa de la ubicación de la Unidad de Transportes en las instalaciones de la Sede Central del ITCR. (Google Eart, 2018)

#### 3.1 DEFINICIÓN DE LA LÍNEA BASE DE LA FLOTA VEHICULAR DE LA UNIDAD DE TRANSPORTES DE LA SEDE CENTRAL ITCR

Se realizó una revisión bibliográfica para identificar la información necesaria para elaborar la línea base de la flota. Considerando el criterio de diversos autores (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2015; Ramírez, 2014; Yolanda & Morales, 2002) esta incluyó la composición, el rendimiento en el consumo de combustible, las rutas más frecuentes junto con sus kilometrajes y la metodología de asignación de vehículos. Estos datos fueron obtenidos aplicando entrevistas dirigidas al coordinador de la flota, efectuando visitas a la Unidad de Transportes y revisando inventarios vehiculares.

En la determinación de la composición del parque vehicular se consultó la marca, el modelo, la cilindrada, el tipo de carrocería, tracción y edad de las unidades que se emplean únicamente en el transporte de pasajeros para el 2018, con el fin de obtener el estado actual de la flota vehicular.

Con base a esta composición se determinaron los rendimientos de consumo de combustible, para cada vehículo individual y un promedio por tipo.

Posteriormente se identificaron las 10 rutas fijas más frecuentes, las cuales se determinaron en función del número de viajes por semestre. Se consideraron las frecuencias más altas para elegir estas rutas. Además, en su descripción se incluyó las condiciones de carretera y la distancia ida y vuelta.

Por último, se identificó la metodología de asignación actual de vehículos aplicada por el coordinador de flota.

### **3.1.1 Cálculo del rendimiento de combustible para cada vehículo y en promedio para tipo de vehículos**

La Institución ha mantenido desde el 2017 un seguimiento en el consumo de combustible de los vehículos de sus departamentos en la Sede Central mediante un software institucional elaborado por el Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESlab) y la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL).

Dicho programa, proporcionó los kilómetros marcados por el odómetro y los litros de combustible consumidos por recarga.

Para determinar el rendimiento de combustible, se realizó un cálculo para cada vehículo y un promedio por tipo, siendo estos doble tracción, automóviles, busetas, microbuses y una furgoneta tipo Van.

El consumo individual de cada vehículo se obtuvo empleando los cálculos propuestos por el IDAE, (2006). Primero se obtuvieron los kilómetros recorridos entre recarga empleando la fórmula 1.

$$km_r = km_{ra} - km_p \quad (1)$$

$km_r$  = kilómetros recorridos entre repostajes (recarga de combustible)

$km_{ra}$  = kilómetros marcados por el odómetro en la recarga actual

$km_p$  = kilómetros marcados por el odómetro en la recarga anterior

Posteriormente se realizó una sumatoria de los kilómetros recorridos de cada repostaje como se presenta en la fórmula 2 y se sumaron los litros consumidos en cada recarga mediante la fórmula 3. Las recargas del tanque se realizan procurando que siempre este lleno, sin embargo, si la cantidad de litros es suficiente para el siguiente viaje, esta no se realiza.

$$km_T = km_{r1} + km_{r2} + \dots + km_{rn} \quad (2)$$

$km_T$  = kilómetros recorridos Totales

$km_{r1}$  = kilómetros recorridos en el repostaje 1

$km_{r2}$  = kilómetros recorridos en el repostaje 2

$km_{rn}$  = kilómetros recorridos en el repostaje n

$$L_T = L_{r1} + L_{r2} + \dots + L_{rn} \quad (3)$$

$L_T$  = Litros administrados Totales

$L_{r1}$  = Litros administrados en el repostaje 1

$L_{r2}$  = Litros administrados en el repostaje 2

$L_{rn}$  = Litros administrados en el repostaje n

Estos cálculos permiten determinar los litros consumidos en 100 kilómetros (l/100 km), el cual es el indicador recomendado por diversos autores para monitorear el rendimiento, por lo que se empleó la fórmula 4 establecida por (IDAE), 2006 para obtener el consumo individual.

$$C = \frac{L_{rn}}{km_T} 100 \quad (4)$$

$C$  = Consumo de combustible en l/100km

$L_T$  = Litros administrados Totales

$km_T$  = kilómetros recorridos Totales

Por último, se utilizó la fórmula 5 para calcular el promedio por tipo de vehículos.

$$\text{Consumo promedio por categoría} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n} \quad (5)$$

$C_1$  = Consumo de combustible del vehículo número 1



$C_2$  = Consumo de combustible del vehículo número 2

$C_n$  = Consumo de combustible del vehículo número “n”

$n$  = Número de datos

## 3.2 IDENTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACTUAL DE ADQUISICIÓN DE LA UNIDAD DE TRANSPORTES

Para identificar la metodología actual de adquisición de vehículos, se realizaron entrevistas dirigidas al Coordinador de la flota, quien además facilitó el documento Licitación Abreviada N°2012LA-000034-APITCR, el cual se utilizó en la adquisición de vehículos doble tracción ejecutada en el 2013. Este documento contiene información sobre los criterios de adjudicación y las fórmulas para asignar los puntajes de los rubros que se evalúan.

### 3.2.1 Aspectos ambientales por considerar en la adquisición de vehículos

Se consultaron diversas fuentes escritas y se llevaron a cabo entrevistas dirigidas a funcionarios de CEGESTI para establecer la información técnica a solicitar a los importadores de vehículos para medir su desempeño ambiental.

Adicionalmente se consultó la Guía de Compra Verde de Vehículos elaborada por la Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña en el 2015, para incluir aspectos ambientales de vehículos de combustión interna, híbridos enchufables y no enchufables y eléctricos.

## 3.3 PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES POR RUTA

Para identificar los factores de eficiencia energética en la asignación de vehículos, se realizó una revisión bibliográfica. Con los resultados se procedió a seleccionar los factores aplicables en la Unidad de Transportes y a incorporar la información recolectada en la línea base como las particularidades de las rutas, la composición actual de la flota, índice de consumo individual y las características de la asignación actual.

Posteriormente estos factores se utilizaron para elaborar una hoja de cálculo presentada en el Apéndice 1, donde se aplica el método propuesto para la asignación de vehículos más eficientes en función de la ruta a realizar.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DEFINICIÓN DE LA LÍNEA BASE DE LA UNIDAD DE TRANSPORTES DE LA SEDE CENTRAL DEL ITCR

La Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR, se encarga de brindar el servicio de transporte a estudiantes, docentes y administrativos hacia diferentes giras, proyectos de investigación o extensión, además de cualquier servicio que requiera un vehículo y que sea de interés institucional.

La dirección está a cargo del Coordinador de la Unidad de Transportes, cuyas funciones incluyen asignar choferes, vehículos e itinerarios; elaborar la planeación e implementar el mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades, establecer las características técnicas buscadas al momento de realizar una adquisición y ser el contacto directo con las agencias automovilísticas.

Esta Unidad no posee manuales de operación, políticas de adquisición de vehículos ni un flujograma donde se establezcan los procedimientos de logística, mantenimiento y administración.

De ahí, la razón para elaborar una línea base que facilite determinar la situación inicial de la flota e identificar oportunidades de mejora en los procesos de asignación y adquisición de vehículos.

#### 4.1.1 Composición de la flota vehicular

La gestión de la flota de transporte varía según su tipo. No es lo mismo la planificación de una flota de buses para el transporte de pasajeros, que la de una flota de camiones utilizada para el transporte de mercancías (Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minería de Argentina, 2017).

La flota estudiada se define como heterogénea, es decir, compuesta por vehículos con diversos consumos de combustible y capacidad de carga (Kopfer et al., 2014), así como variables costos operacionales y dimensiones (Leung, Zhang, Zhang, Hua, & Lim, 2013). El **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las características de los vehículos que la conforman.



**Cuadro 4.1. Composición de la flota vehicular de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR.**

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Combustible</b>	<b>Año</b>	<b>Cilindraje (cc)</b>	<b>Carrocería</b>	<b>Capacidad de pasajeros</b>	<b>Cantidad de vehículos</b>
Toyota	Land Cruiser	Doble Tracción	Diesel	1991	4200	Camioneta-5 puertas	9	4
Toyota	Dyna	Doble tracción	Diesel	1997	3000	Cajón abierto de madera	3	1
Toyota	Prado	Doble Tracción	Diesel	2007	3000	Camioneta-5 puertas	7	1
Toyota	Land Cruiser	Doble Tracción	Diesel	2009	4200	Camioneta-5 puertas	7	3
Mitsubishi	L200	Pick-Up	Diesel	2009	3000	4 puertas	4	1
Toyota	Fortuner	Doble Tracción	Diesel	2011	3000	Camioneta-5 puertas	7	3
Toyota	Land Cruiser	Doble Tracción	Diesel	2011	4200	Camioneta-5 puertas	7	1
Toyota	Fortuner	Doble Tracción	Diesel	2015	3000	Camioneta-5puertas	7	2
Toyota	Prado	Doble Tracción	Diesel	2015	3000	Camioneta-5 puertas	7	1
Toyota	Corolla	Automóvil	Diesel	2008	2000	Sedan-5 puertas	5	1
Mitsubishi	Lancer	Automóvil	Gasolina	2009	1800	Sedan-5 puertas	5	1
Toyota	Corolla	Automóvil	Diesel	2009	1800	Sedan-5 puertas	5	2
Nissan	Tiida	Automóvil	Gasolina	2011	1600	Sedan-5 puertas	5	1
Nissan	Sentra	Automóvil	Gasolina	2014	1800	Sedan-5 puertas	5	1

**Continuación** ;Error! No se encuentra el origen de la referencia.

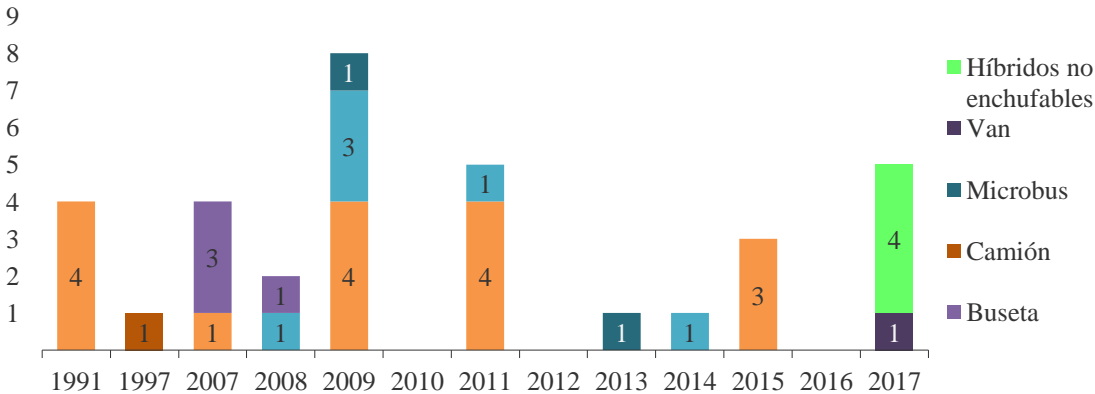
<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Combustible</b>	<b>Año</b>	<b>Cilindraje (cc)</b>	<b>Carrocería</b>	<b>Capacidad de pasajeros</b>	<b>Cantidad de vehículos</b>
Hyundai	Ioniq	Automóvil	Gasolina/ Eléctrico	2017	1600	Sedan-5puertas	5	4
Toyota	Hiace	Buseta	Diésel	2007	3000	--	15	3
Toyota	Hiace	Buseta	Diésel	2008	3000	--	15	1
Toyota	Coaster	Microbus	Diésel	2009	4200	--	30	1
Toyota	Coaster	Microbus	Diésel	2013	4200	--	30	1
Hyundai	H1	Furgoneta (Van)	Diesel	2017	2500	VAN	12	1

La flota está compuesta por 16 vehículos doble tracción, los cuales son mayoría, 6 automóviles, un camión de carga, 4 busetas, 2 microbuses y una furgoneta tipo Van. En total son 28 unidades de combustión interna, cuya edad varía del año 1991 al 2017; y 4 vehículos híbridos del año 2017. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Cabe destacar que los vehículos híbridos fueron adquiridos para mejorar el desempeño ambiental de la flota, sustituyendo dos unidades doble tracción del año 1991 y dos automóviles del año 2001. Adicionalmente en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que actualmente los vehículos más antiguos corresponden a 4 Toyota Land Cruiser modelo 1991 y el camión Toyota Dyna del año 1997 con 27 y 21 años respectivamente.

La GIZ menciona en su documento Manual de Administración de Flotas (2014), que no sustituir un vehículo después de 10 años de funcionamiento genera mayores costos de mantenimiento, menos disponibilidad de unidades y un mayor gasto de combustible. Esto debido a que, la edad del vehículo y el kilometraje recorrido a lo largo de su funcionamiento están relacionados con el deterioro del motor además de un aumento en su emisión de contaminantes (Zhang et al., 2018).

Una herramienta utilizada en diagnósticos energéticos para monitorear la edad de la flota y la política de renovación es la pirámide de edades. La forma esperable de una pirámide en una flota en expansión y con una política de renovación establecida es creciente, con una menor cantidad de vehículos antiguos y con un aumento progresivo de nuevas unidades que las van sustituyendo. La **Figura 4.1** muestra la pirámide de edades de la flota de la Sede Central del ITCR.



#### **Figura 4.1 Pirámide de edades de la flota vehicular de la Unidad de Transportes.**

En la Figura 4.1, se observa que no existe una forma piramidal. La renovación de los vehículos fue realizada en bloques, donde hubo dos períodos de mayor compra, del 2007 al 2009 y del 2013 al 2017, este último presenta una tendencia creciente, sin embargo, la presencia de estos bloques evidencia que no existe una política de sustitución y compra definida.

La pirámide también permite monitorear la composición de la flota vehicular, por ejemplo, actualmente existen 4 busetas y dos microbuses cuyas últimas adquisiciones se realizaron en el 2008 y el 2013 respectivamente.

Yolanda & Morales (2002) mencionan que la edad promedio a la que se deben reemplazar las unidades puede variar, y dependerá de las condiciones de operación, el factor de uso y los programas de mantenimiento. No obstante, los autores referencian un promedio de edad de 7 años para el transporte de pasajeros y 5 años para el transporte de carga.

En el caso de la Unidad de Transportes, la pirámide presentada en la Figura 4.1 permite determinar que la mayoría de las unidades son del año 2009, con una antigüedad de 9 años, la cual coincide con la edad promedio de la flota.

El conocimiento del estado y características de las unidades con los que cuenta la flota es indispensable para cumplir los servicios solicitados con el menor costo y emisión de contaminantes posibles, por esta razón es importante monitorear continuamente la pirámide de edades para identificar la necesidad de sustituciones o renovaciones.

Por lo que la pirámide presentada es un punto de partida para definir una política de renovación e identificar las próximas sustituciones a ejecutar. Adicionalmente, esta composición permite establecer la situación inicial del rendimiento de la flota en esta investigación.

#### **4.1.2 Rendimiento en el consumo de combustible de la flota**

El establecimiento de un sistema de control de consumo es el punto de partida para una adecuada gestión del combustible, teniendo como fundamento la exactitud de la información. Esto permite definir una línea base para determinar el impacto de las mejoras que se realicen. (Subsecretaria de Ahorro y Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minería de Argentina, 2017).

El ITCR actualmente posee un sistema de control de combustible impulsado por GASEL y SESLab. La presente investigación utiliza la información del año 2017 facilitada por estas unidades operativas para determinar el índice de consumo de los vehículos, pero solamente analiza los datos presentados en la composición del apartado anterior para obtener los rendimientos de la flota actual.

Con la ayuda de este sistema se determinó el indicador de los litros de combustible consumidos en 100 kilómetros (l/100km) para cada vehículo, este fue calculado a partir de los litros administrados en cada recarga y el kilometraje marcado por el odómetro en ese momento. Posteriormente se estableció un promedio por tipo de vehículo excluyendo los híbridos, debido a que no se encontraban en funcionamiento en la etapa de recolección de datos.

Los promedios de consumo de combustible por tipo de vehículo se presentan en el Cuadro 4.2 junto con su capacidad de pasajeros.

**Cuadro 4.2 Consumo de combustible de la flota según el tipo de vehículo**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Rendimiento en el consumo de combustible</b>	<b>Capacidad de pasajeros</b>	<b>Consumo por persona</b>
Microbus	14,97 l/ 100km	30	0,499 l/ 100km
Doble Tracción	13,16 l/ 100km	7-9	1,88-1,46 l/ 100km
Buseta	10,88 l/ 100km	15	1,06 l/ 100km
Automóvil	9,17 l/ 100km	5	1,83 l/ 100km
Van	13,18 l/100km	12	1,098 l/ 100km

En general, los vehículos que presentaron un mayor consumo fueron los microbuses, seguidos por los de doble tracción y las busetas. Estos vehículos poseen el mayor tamaño de cilindrada de la flota por lo que es esperable que presenten el mayor consumo de la flota, ya que esta característica está relacionada con la demanda de combustible del motor. (Loyola, Sandoval, & Galvez, 2016).

Es importante mencionar que el promedio de los vehículos doble tracción, disfraza el hecho de que los vehículos más viejos de este tipo presentan un gran consumo de combustible el cual más adelante se discutirá.



Analizando el consumo por pasajero, los transportes con más plazas emplean menos combustible al utilizarlos en su capacidad total, siendo los microbuses, la Van y las busetas, los vehículos más eficientes al emplearse en estas condiciones. Adicionalmente esta característica permite disminuir el número de vehículos por viaje y por ende el consumo y las emisiones de CO<sub>2</sub> (Jung & Koo, 2018).

De acuerdo con el

Cuadro 4.2 las unidades doble tracción, son las que tienen el menor rendimiento. Los datos de consumo para cada vehículo se presentan en el

Cuadro 4.3 junto con la edad y la cilindrada respectiva.

**Cuadro 4.3 Rendimiento en el consumo de combustible, cilindrada y edad de los vehículos doble tracción.**

<b>Placa</b>	<b>Rendimiento (l /100km)</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Cilindrada (cc)</b>
89	16,82	27	4200
90	15,93	27	4200
93	12,94	27	4200
95	15,49	27	4200
706598	13,58	11	3000
181	10,53	9	2500
188	14,37	9	4200
189	15,01	9	4200
190	15,15	9	4200
211	11,52	7	3000
212	11,07	7	3000
213	13,92	7	4200
224	11,69	7	3000
245	11,15	3	3000
246	10,12	3	3000
BHL-958	11,21	3	3000

El

Cuadro 4.3, muestra que los vehículos más antiguos son los que consumen mayor cantidad de combustible. Según Zhang et al (2018) la edad y el kilometraje recorrido durante la vida útil influyen en altos consumos de combustible. En el caso de las unidades placas 89, 95 y 90, específicamente los Toyota Land Cruiser año 91 esto se cumple, también se observa que las

unidades placa 188, 189 y 190 también Toyota Land Cruiser año 2009 poseen elevados datos consumo.

Este tipo de vehículos sin importar el modelo, se caracterizan por tener una cilindrada de 4200 cc, la más grande de la flota lo cual influye en su consumo de combustible.

Particularmente, la unidad placa 93, tiene un rendimiento menor a pesar de su antigüedad de 27 años y ser un Toyota Land Cruiser, sin embargo, a la hora de analizar su kilometraje total, posee entre 10 000 y 30 000 km menos que sus homólogos, lo cual puede incidir en su menor consumo.

En este caso el consumo de combustible y la edad pueden emplearse para determinar los costos operativos del vehículo y con base a esta información determinar si es más rentable sustituir la unidad que mantenerla en funcionamiento.

Por otro lado, los vehículos con mejor rendimiento de esta categoría son el Mitsubishi L200 (2009) placa 181 con 10.53 l/100 km, el Fortuner (2011) placa 212 con 11.07 l/100 km y el Fortuner (245) placa 245 y 10.12 l/ 100km. Este último fue parte de la adquisición de vehículos doble tracción más reciente.

Finalmente, los vehículos con el mayor rendimiento de la flota son los automóviles, sus valores individuales junto con su cilindrada respectiva se observan en el Cuadro 4.4.

**Cuadro 4.4 Rendimiento en el consumo de combustible y cilindradas de los automóviles.**

<b>Placa</b>	<b>Rendimiento (l/ 100km)</b>	<b>Cilindrada (cc)</b>
167	8.73	2000
179	8,25	1800
199	9.37	1800
201	9,03	1800
216	8.36	1600
217	8.87	1600
236	13,5	1800

De acuerdo con Cuadro 4.4, estos vehículos presentan las menores cilindradas de la flota. Además, se observa que las unidades más eficientes son el Mitsubishi Lancer (2009) placa 179 con 8.25 l/100km y el Nissan Tiida (2011) placa 216 con un rendimiento de 8.36 l/100km. Estos automóviles presentan una cilindrada de 2000cc y 1600cc respectivamente, esta última es la de menor tamaño de la flota.

El vehículo que presenta el mayor consumo es el Nissan Sentra (2014) placa 236 con 13.5 l/100km con una cilindrada de 1800 cc.

En general, la identificación de las unidades con mayor y menor rendimiento es una herramienta que contribuye a realizar una asignación de vehículos que considere el ahorro de combustible durante la operación. Las unidades con mejor rendimiento se deberían emplear en los viajes con mayor cantidad de kilómetros o tráfico y a los choferes con las mejores prácticas de conducción eficiente para disminuir la emisión de CO<sub>2</sub> y el consumo de combustible.

Adicionalmente deben considerarse las características del servicio para asignar el vehículo más eficiente que cumpla con los requerimientos del viaje.

A continuación, se presenta la caracterización de las rutas fijas más frecuentes que realiza la Unidad de Transporte.

#### **4.1.3 Rutas más frecuentes realizadas por la unidad de transportes**

Cada tipo de empresa de transporte tiene sus propias características de operación, sin embargo, hay actividades comunes entre ellas como lo es el diseño de rutas. Este busca mejorar el uso de los vehículos que componen la flota (Cobos, 2010).

Los tipos de ruta orientan el diseño que se aplicará para elaborar rutas más cortas y con menor costo de tiempo. Estas se pueden clasificar en rutas fijas que suelen mantenerse en el tiempo y rutas dinámicas las cuales se reformulan continuamente (Cobos, 2010).

Las rutas fijas de la Unidad de Transportes se caracterizan por tener buenas condiciones de carretera (asfalto), diferentes kilometrajes y condiciones de tráfico que varían dependiendo de la hora. Los diez viajes más frecuentes para el año 2017 se presentan en el

Cuadro 4.5.

**Cuadro 4.5 Características de las 10 rutas más frecuentes realizadas por la Unidad de Transporte**

<b>Ruta</b>	<b>Frecuencia Semestral</b>	<b>Frecuencia semanal (aproximada)</b>	<b>Distancia ida y vuelta (km)</b>
Centro Académico (CA) de Limón	160	10	300
Sede Regional San Carlos	64	4	278

Universidad de Costa Rica (UCR)	32-48	2-3	53
Aeropuerto	48	3	103
Consejo Nacional de Rectores (CONARE)	32	2	78

Continuación Cuadro 4.5

<b>Ruta</b>	<b>Frecuencia Semestral</b>	<b>Frecuencia semanal (aproximada)</b>	<b>Distancia ida y vuelta (km)</b>
Centro Académico (CA) San José	32	2	83
Centro Académico (CA) Alajuela	16	1	105
Proyecto de extensión en Talamanca	32	2	555
Gira a la Estrella del Guarco	16	1	91
Gira a Guanacaste	16	1	530

La Sede Regional San Carlos y el CA de Limón son los viajes más frecuentes y con mayor kilometraje, convirtiéndolas en las que generan una mayor emisión de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible. Estas rutas junto con el CA San José y CONARE, se realizan en transporte compartido empleando un automóvil, un doble tracción, una buseta o un microbús, dependiendo de la demanda del viaje y de la finalidad de este. Cabe destacar que es muy frecuente el uso de vehículos doble tracción en estos viajes por la cantidad de pasajeros que se necesita transportar.

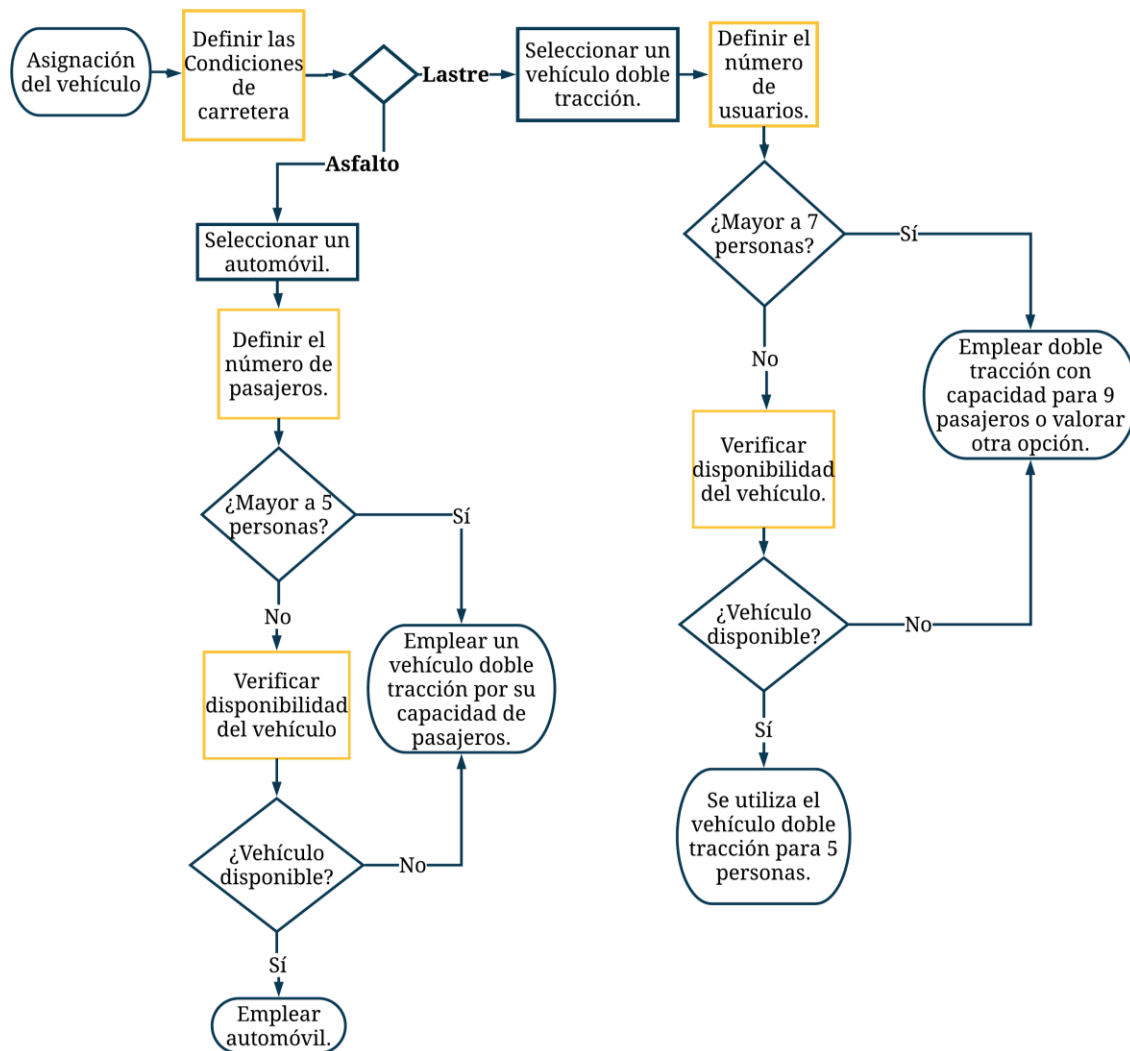
La gira a la Estrella de Guarco y el proyecto de extensión en Talamanca son las únicas que requieren unidades 4x4 por las condiciones del terreno, sin embargo, ocasionalmente también la ruta al CA Limón emplea vehículos de esta tracción por las condiciones del terreno en época lluviosa. En el caso de la última ruta que corresponde a la gira a Guanacaste, siempre se emplea busetas.

Las características de estas rutas definen las principales necesidades que la flota debe cubrir en la asignación de vehículos y adicionalmente la composición para satisfacerlas de la mejor manera.

#### **4.1.4 Asignación de vehículos por ruta**

La política de flota es el documento que establece el tipo de vehículos a utilizar en función de las necesidades de cada departamento. La mayoría de las flotas vehiculares cuenta con una metodología de asignación la cual puede no estar escrita (AEGFA, 2014).

Este es el caso de la Unidad de Transportes, en donde la asignación es definida por el coordinador de flota, quien considera las condiciones de carretera, el número de pasajeros y la disponibilidad de vehículos. La Figura 4.2 muestra como estos factores intervienen en el proceso de selección de vehículos.



**Figura 4.2 Diagrama del proceso de asignación de vehículos por ruta**

De acuerdo con la Figura 4.2, la última variable en la asignación es la disponibilidad, siendo determinante en el proceso. Esto significa que, aunque las condiciones de carretera sean óptimas para un automóvil y el número de pasajeros sea menor a 5, se empleará un doble tracción si no hay un automóvil libre. Generando un mayor consumo de combustible y emisión de CO<sub>2</sub>, ya que los vehículos 4x4 de la flota poseen una menor eficiencia tal y como se ha discutido.

Con respecto al proceso de asignación de las busetas y microbuses, estas se emplean principalmente en giras o cuando el número de pasajeros es entre 10 y 30 personas, si el

número es mayor se asignan dos busetas o dos microbuses, dependiendo igualmente de la disponibilidad de los vehículos o incluso se puede llegar a contratar un servicio externo.

Es importante mencionar que la flota cuenta con una furgoneta o van para el transporte de personas con una capacidad de 12 personas, la cual se asigna principalmente en los viajes al CA Limón.

El proceso de asignación vigente no considera el rendimiento en el consumo de combustible, ya que la metodología se centra en garantizar el servicio de transporte con la composición actual. Sin embargo, considera las políticas internas de emplear transporte compartido en las diferentes sedes y a CONARE, lo cual ha facilitado la disponibilidad de más unidades, así como una disminución en el consumo de combustible.

El primer paso para establecer una asignación que contemple el rendimiento ambiental, es monitorear el consumo de combustible individual de cada vehículo el cual ya se realiza con el programa de monitoreo institucional, sin embargo, su aplicación facilitaría la toma de decisiones como más adelante se explicará.

#### **4.1.5 Resumen de la línea base**

La línea base de esta investigación es el primer estudio de la situación inicial de la flota de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR. En ella se identificaron los vehículos que la conforman con sus características, la distribución según su tipo y sus edades. Esta última se analizó empleando una pirámide de edades que evidenció que no existe una política de renovación de flota.

A partir de la composición actual, se calculó el rendimiento de combustible individual de los vehículos en el 2017, esta sería la línea base para determinar el impacto de las mejoras a futuro y además contribuye a tomar decisiones que contemplen el ahorro de combustible y por ende la disminución de las emisiones de la flota, en la asignación de vehículos según las características de la ruta.

Los aspectos en la selección de vehículos por ruta también fueron analizados de manera general para todos los servicios que brinda la Unidad de Transporte, donde se identificó que el número de vehículos disponible y la capacidad de pasajeros determinan esta decisión.

A continuación, en el Cuadro 4.6 presenta un resumen de los resultados obtenidos por la línea base.

**Cuadro 4.6 Resumen de los aspectos de la línea base de la Unidad de Transportes de la Sede Central del ITCR**

<b>Aspecto</b>	<b>Información</b>
Composición	Total de unidades: 32 16 vehículos doble tracción 6 automóviles 4 vehículos híbridos no enchufables 2 microbuses 4 busetas 1 camión Edad promedio de la flota: 9 años Vehículos más antiguos Doble tracción: 4 Toyotas Land Cruiser modelo 1991 (edad 27 años) Automóvil: Toyota Corolla modelo 2008 (edad 10 años) Vehículo de carga: Toyota Dyna modelo 1997 (edad 26 años)
Rendimiento	Doble tracción 13.16 l/100km Automóviles: 9.17 l/100km Microbuses: 10.88 l/100km Busetas: 14.26 l/100km
Rutas más frecuentes	Ruta más frecuente: C.A Limón Ruta más larga: C. A Limón Ruta más corta: UCR
Asignación de rutas	Variables que determinan la asignación: Condiciones de carretera Número de pasajeros Disponibilidad

## 4.2 ADQUISICIÓN DE VEHÍCULOS EN EL ITCR

La selección y adquisición de vehículos eficientes y óptimos para cumplir con los servicios que una flota debe cubrir es parte de la aplicación de un sistema de gestión de combustible. La línea base surge como una herramienta para facilitar esta selección e identificar los vehículos a comprar para mejorar la cobertura de los servicios.

En el caso de la Unidad de Transportes, la línea base determinó que la composición actual presenta una mayoría de vehículos doble tracción, lo que explica su mayor disponibilidad al momento de proceder con la asignación. Adicionalmente estas unidades tienen una capacidad de 7 pasajeros, brindando ventajas al momento de ejecutar las políticas internas de transporte



compartido, sin embargo, al analizar las condiciones de carretera de las rutas más frecuentes, este tipo de vehículos no es indispensable y produce un mayor consumo de combustible. Aquí es importante mencionar que la finalidad de la Unidad es garantizar el servicio de transporte con la composición actual y el cumplimiento de las políticas de internas de la Institución.

Si bien la composición necesita un análisis profundo para identificar con exactitud las adquisiciones a ejecutarse, para cumplir de la mejor manera con los servicios y a la vez mejorar el rendimiento ambiental de la flota, en la última compra de vehículos, se sustituyeron dos unidades doble tracción y dos de los automóviles más antiguos con cuatro unidades de vehículos híbridos, además se incorporó una furgoneta tipo Van con una capacidad de 10 pasajeros, por lo que se observa un proceso de mejora.

Sine embargo, aún se necesita incorporar vehículos nuevos de una mayor capacidad de pasajeros y que consuman menos combustible. Lo cual, es totalmente alcanzable con una política de renovación a largo plazo que contemple los criterios de consumo de combustible, desempeño ambiental, así como el número de pasajeros.

#### **4.2.1 Identificación de la metodología de adquisición de vehículos de la Unidad de Transportes**

El ITCR no aplica una política de renovación a largo plazo, esta se da según las necesidades de desplazamiento que se requieran atender siempre y cuando exista un presupuesto.

El coordinador de la flota es el encargado de establecer las características técnicas que se solicitan en el cartel, y se considera el respaldo, garantía y mantenimiento por parte de la agencia. Actualmente el único criterio ambiental que solicita en los requisitos son restricciones en el aire acondicionado del vehículo, el cual debe ser ecológico o amigable con el ambiente.

La elección final se toma, con la ayuda del sistema de evaluación que se describe en la Figura 4.3, aplicado por la Oficina de Licitaciones en la adquisición de vehículos. Una vez que se ha evaluado, se determina el puntaje mayor y antes de ejecutar la compra el coordinador de la Unidad de Transportes revisa que toda la información del cartel sea cumplida por el proveedor ganador de la licitación.

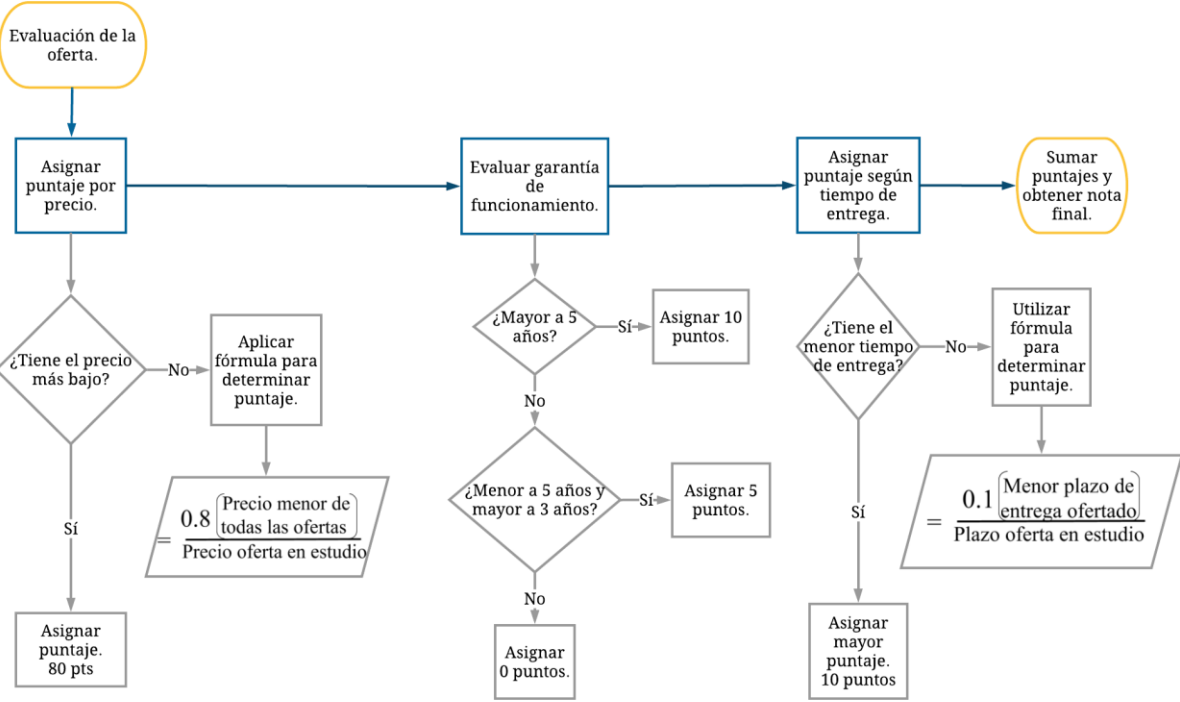


Figura 4.3 Diagrama de flujo del proceso de evaluación de licitaciones en la adquisición de vehículos del ITCR

De acuerdo con la Figura 4.3 los rubros que se evalúan son el precio con 80 puntos, la garantía de funcionamiento con 10 puntos y el tiempo de entrega con 10 puntos para un total de 100. Teniendo en cuenta que el ITCR es una Institución a la vanguardia en el tema ambiental, la incorporación de criterios ambientales en sus adquisiciones de vehículos sería un gran paso hacia la introducción de vehículos más limpios y eficientes energéticamente, debido a su gran capacidad para influir en la industria, la sociedad y los individuos.

Según el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones del Gobierno de Chile (2008) en el sector público por lo general las compras se deciden a través de comités de adquisiciones, integrados por funcionarios con preparación técnica en cada área, por lo que se recomienda que un representante de GASEL colabore con el coordinador de flota en el establecimiento de las características técnicas requeridas por las unidades a comprar, con el fin de escoger aquellas que generen el menor consumo de combustible.

#### 4.2.2 Aspectos ambientales por considerar en la adquisición de vehículos

En la adquisición de vehículos limpios y eficientes, debe considerarse el impacto ambiental y energético durante la vida útil del vehículo. La Guía para la Compra Verde de Vehículos (2015) establece que estas características pueden evaluarse mediante los siguientes aspectos:

- El consumo energético medido en km/l o l/100km.
- La generación emisiones de CO<sub>2</sub> en g/km.
- La norma Euro del motor.

Los límites establecidos por las diferentes normas Euro según su actualización, se observan en el Anexo 2. Para el año 2018, la norma vigente para vehículos nuevos que ingresan al país, sería la Euro 4.

En las compras públicas los aspectos mencionados, pueden incorporarse como criterios de adjudicación o estableciendo sus máximos permisibles de consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub> y una norma Euro mínima. Sin embargo, Costa Rica aún no cuenta con un reglamento o guía que establezca los límites de estas referencias en la compra de vehículos, por lo que la mejor opción es incorporarlos como un nuevo criterio de adjudicación como se observa en el Cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7 Criterios ambientales a incluir como criterios de adjudicación y sus medios de acreditación.**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Criterio</b>	<b>Medio de acreditación</b>	<b>de Criterio de adjudicación</b>
Combustión interna e híbridos en general	Norma Euro o Tier	Ficha técnica	Presenta la norma Euro más reciente.

	Emisiones de CO <sub>2</sub> en g/km	Ficha técnica o algún otro documento que la certifique.	Presenta las emisiones más bajas de CO <sub>2</sub> .
	Consumo de combustible en l/100km o km/l	Ficha técnica o algún otro documento que la certifique	Presenta el consumo más bajo de combustible.
Vehículos eléctricos	Consumo eléctrico kWh/km.	Ficha técnica	Presenta el consumo eléctrico más bajo.
	Rango o autonomía del motor eléctrico en distancia (km)	Ficha técnica	Presenta el rango más alto o que cumpla con los requerimientos de los servicios.

Fuente: (Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña, 2015; U.S. Environmental Protection Agency, 2017)

De acuerdo con el Cuadro 4.7, cada tecnología posee diferentes criterios ambientales para evaluar su impacto y su desempeño, ya que poseen diferentes fuentes de energía, por lo que es preferible evaluar vehículos equivalentes, o con similares criterios como el caso de los vehículos de combustión interna e híbridos en general. Las tecnologías por evaluar deben especificarse al momento de definir las características técnicas buscadas.

Además, es importante vigilar la garantía y el respaldo que se espera, por esta razón en el

Cuadro 4.8 se brinda una guía de lo que se puede solicitar en vehículos híbridos y eléctricos.

**Cuadro 4.8 Requisitos de garantías mínimas a considerar en la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos en general.**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Criterio</b>	<b>Medio de acreditación</b>	<b>de Criterio de adjudicación</b>
Vehículos híbridos no enchufables e híbridos enchufables	Freno regenerativo	Ficha técnica	Presenta freno regenerativo.
Vehículos híbridos y eléctricos	Garantía de la batería en años o ciclos de carga.	Documentación de batería o garantía que ofrece licitador.	Estar equipados con una batería de 8 años de vida útil mínimo o 1000 ciclos de recarga.
	Mantenimiento de la capacidad de carga de la garantía de la batería que ofrece el licitador. Se debe garantizar que la batería estará mínima a un 70% de su capacidad después de 100.000 km o 5 años.	Garantía del licitador	Presentación de la garantía por parte de licitador. Documentación de la batería que equipa el vehículo.

Fuente: (Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña, 2015)

Actualmente, la aplicación de los criterios del Cuadro 4.7 no se considera en la adquisición de vehículos del ITCR, por lo que, se propone un nuevo modelo de adquisición en la figura 4.4. para facilitar su aplicación.

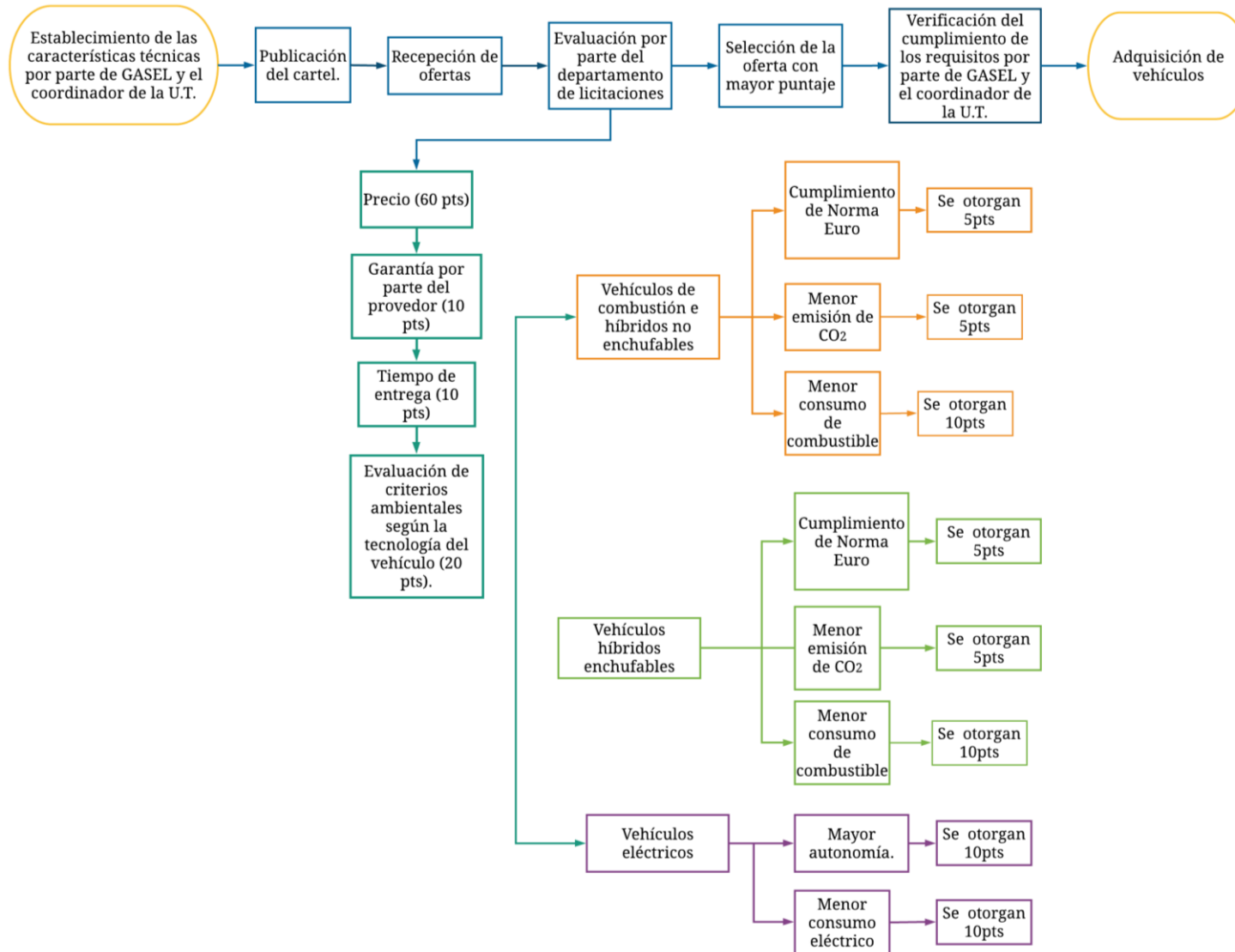


Figura 4.4 Esquema de la propuesta de adquisición de vehículos para el ITCR.

Al comparar el esquema de la Figura 4.4 con el proceso de adquisición y la evaluación actual presentada en la Figura 4.3, se observa que el primer cambio es la colaboración de GASEL tanto en la definición de las características técnicas de los vehículos como en su verificación antes de realizar la compra, estas actividades las lleva a cabo el coordinador de flota, por lo que la colaboración de GASEL busca promover la adquisición de tecnologías eficientes, evitar la selección de vehículos sobre dimensionados y la aplicación de los criterios ambientales para adjudicación del Cuadro 4.7 Criterios ambientales a incluir como criterios de adjudicación y sus medios de acreditación.

Específicamente, en la verificación de las características, es donde se recomienda comparar la información brindada por la oferta con una base de datos de rendimientos de vehículos como Fuel Economy de la EPA, la página de consumo vehicular de Chile o de indicadores eficiencia energética y emisiones vehiculares de México, principalmente para verificar la autonomía de los vehículos eléctricos.

Posteriormente, se realiza un cambio en la distribución de puntajes, donde el rubro precio cambia de 80 a 60 puntos, manteniendo el mayor peso en el puntaje final y brindando la posibilidad de introducir el desempeño ambiental de los vehículos con un valor de 20 puntos dentro de la evaluación.

La Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña, 2015 recomienda 10 puntos del puntaje total, para brindar un puntaje atractivo para los licitadores, sin embargo, otras adquisiciones en el ITCR asignan 20 puntos al cumplimiento de criterios ambientales, por ello se propone este puntaje. Dentro de este puntaje se incluyen los criterios mencionados para cada tecnología.

La propuesta incluye vehículos de combustión interna y eléctricos a pesar de la directriz de adquirir solamente vehículos híbridos en la Sede Central, esto se debe a que aún el mercado no ofrece esta tecnología en todos los tipos vehículos. Por lo que también se brindan los criterios para evaluar los casos donde no se pueda ejecutar esta medida

#### 4.3 PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS POR RUTA

Una vez identificados los factores que influyen en la asignación actual, las características de las rutas más frecuentes y los rendimientos individuales de consumo de combustible de la flota, se desarrolló una propuesta de asignación que facilita la selección de vehículos



eficientes. El resultado final es una hoja de cálculo que brinda una lista de vehículos con la capacidad de cumplir las necesidades del viaje con el menor consumo de combustible. Esta se encuentra en el Apéndice 1.

La propuesta además considera los recursos actuales del parque vehicular y las directrices de transporte compartido de la Institución.

La hoja de cálculo tomaría en cuenta estos datos junto con criterios de asignación para definir la lista mencionada. Estos criterios son: las condiciones de carretera, el número de pasajeros y la distancia del viaje. Este último permite incorporar el consumo de combustible individual en la decisión, mientras que los dos primeros definen las características generales de las rutas y de los vehículos.

La Figura 4.5 muestra cómo interactúan en la hoja de cálculo para obtener la lista final de vehículos.

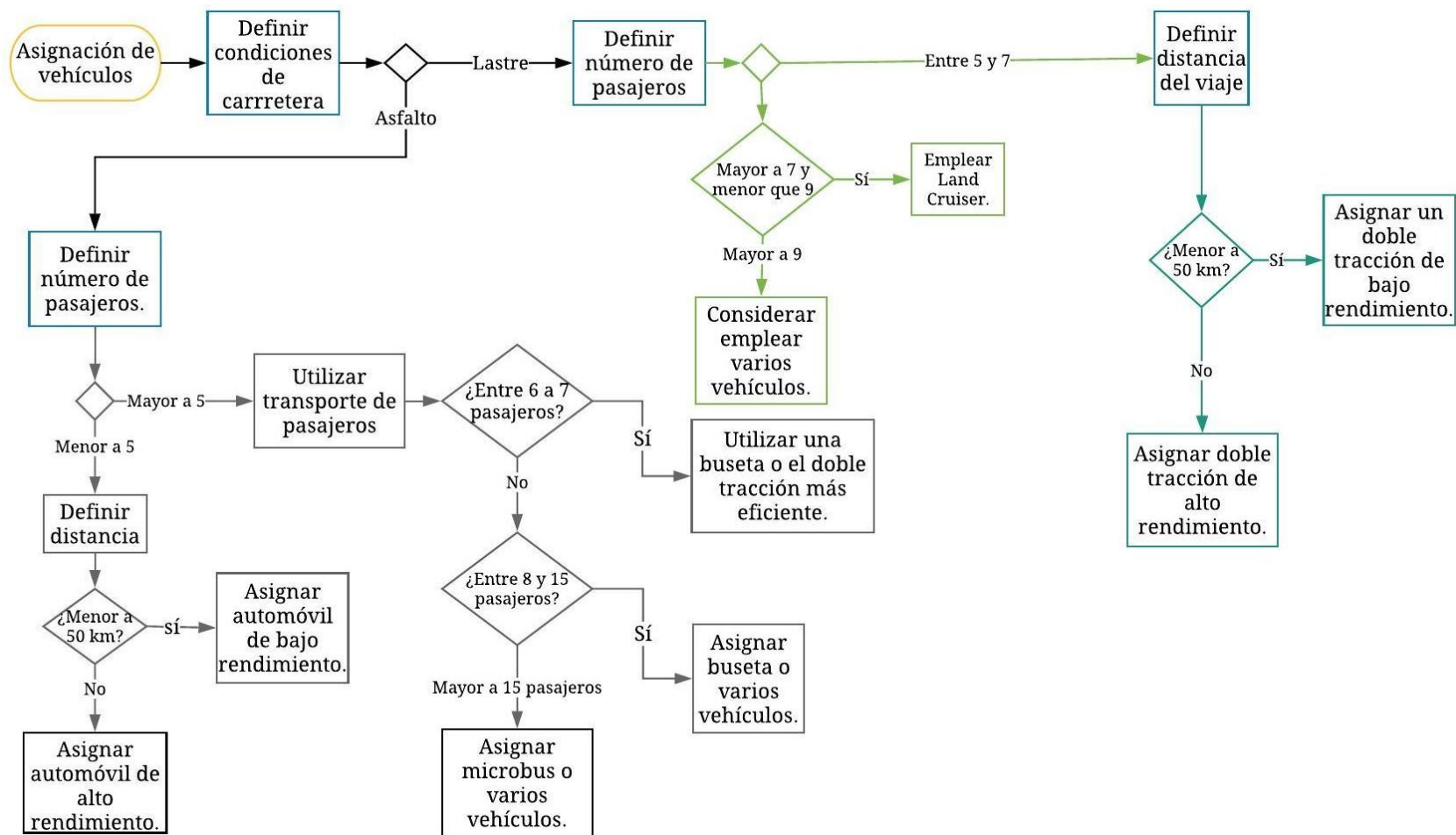


Figura 4.5 Esquema del nuevo Proceso de asignación para la selección de vehículos según el viaje a realizar.

Particularmente, la

Figura 4.5 muestra situaciones en donde por disponibilidad se emplean varios vehículos para cumplir el servicio y satisfacer la demanda de pasajeros. Cómo en el caso de los microbuses y busetas, las cuales por su poca cantidad requieren de esta práctica, la cual genera un mayor consumo de combustible y por ende una mayor emisión de CO<sub>2</sub>.

En general, la disponibilidad es una limitante en la asignación de vehículos, esto significa que, si la unidad solicitada está en servicio, se empleará cualquiera que pueda ejecutar el servicio sin importar su consumo de combustible.

Para evitar estas situaciones, la hoja de cálculo despliega los posibles vehículos por orden de consumo para habilitar la elección de la unidad más eficiente disponible, como se muestra en la Figura 4.6 , donde se presenta un servicio de transporte compartido el cual necesita transportar más de 5 personas.

Condiciones de carretera	Cantidad de pasajeros	Distancia total del viaje	Vehículos recomendado
Asfalto	_6_o_7_pasajeros	Menor_a50km	Fortuner 212
Asfalto	_6_o_7_pasajeros	Mayor_a50km	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">           Fortuner 246            Fortuner 212            Fortuner 245            Busetas placa 157            Fortuner 211            Fortuner 224            Busetas placa 156            Busetas placa 157         </div>

Figura 4.6 Proceso de asignación del transporte compartido de 6 o 7 personas.

La Figura 4.6 muestra que, en el caso de transporte compartido para esta capacidad, la flota cuenta con gran cantidad de opciones, sin embargo, en las situaciones donde por necesidades del servicio, condiciones climáticas o nuevamente disponibilidad se requiera un vehículo fuera de la lista de opciones, existe un espacio para que el coordinador realice la asignación bajo su criterio. Este se muestra en la Figura 4.7.

Condiciones de carretera	Cantidad de pasajeros	Distancia total del viaje	Vehículos recomendado	*CAMPO OPCIONAL* Vehículo obligatorio por características del servicio
Lastre	Menor_a_7	Mayor_a_50km.	Toyota fortuner 245	
Lastre	Menor_a_7	Mayor_a_50km.	Toyota fortuner 245	Land cruiser 90

Figura 4.7Asignación bajo criterio del coordinador

Adicionalmente en las figuras anteriores, se observa que la distancia se utiliza como criterio de asignación. La Guía para la Gestión del Consumo de Combustible de Flotas (2006) establece que una forma de ahorrar combustible durante la operación de los vehículos es asignar las unidades más eficientes en las rutas más largas, mientras que las demás se emplean en las más cortas. La línea base identificó que medidas como esta no se aplican en la asignación actual, por lo que se estableció una distancia de referencia para aplicar este concepto tal y como se muestra en la Figura 4.7.

La única excepción en donde no puede aplicarse esta práctica es en la asignación de busetas, microbuses y los Toyota Land Cruiser, por las pocas unidades existentes y los requerimientos de los servicios que llevan a cabo.

De acuerdo con las situaciones descritas, se recomienda dar prioridad a las rutas más frecuentes en la asignación de vehículos eficientes, ya que en estas se tienen el mayor potencial de mejora. Otra posibilidad sería asignar unidades eficientes en las rutas con mayor tráfico y en los horarios de mayor flujo vehicular.

Igualmente es necesario realizar un estudio sobre las solicitudes de los viajes, para identificar las unidades que se requieren incorporar a largo plazo mediante una política de renovación y así disminuir el problema de disponibilidad de vehículos.

Esta propuesta busca incorporar criterios de eficiencia en la elección de vehículos de forma simple y rápida, así como para disminuir la huella de carbono de la Unidad de Transporte. Adicionalmente se busca que contribuya con la planificación y el orden del parque vehicular para agilizar las funciones del coordinador junto con el aprovechamiento de los recursos en línea, como el programa de seguimiento de combustible.

## 5. CONCLUSIONES

- La flota vehicular de la Unidad de Transportes de la Sede Central está compuesta por 32 vehículos, de los cuales 28 son de combustión interna. El consumo de combustible de estas unidades varía de 9.17 hasta 14.26 l/100 km.
- La metodología de adquisición de vehículos actualmente considera el precio, la garantía, y el tiempo de entrega y debe incorporar la evaluación de criterios ambientales según la tecnología del vehículo, de acuerdo con el nuevo modelo de adquisición propuesto.
- Los criterios ambientales recomendados para el nuevo modelo de adquisición propuesto corresponden a: la norma Euro de motor, el consumo de combustible en l/100km y la emisión de CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> g/km, para vehículos de combustión e híbridos y; el consumo de energía eléctrica en kWh/km y la autonomía por recarga en km, para vehículos eléctricos.
- El procedimiento de asignación de vehículos actual contempla el número de pasajeros, la disponibilidad de vehículos y las condiciones de carretera como los únicos criterios de selección.
- El nuevo modelo propuesto para la asignación de vehículos mantiene los criterios actuales e incorpora la distancia del viaje, permitiendo considerar los datos de consumo de combustible individuales del software de seguimiento institucional, para brindar una lista por orden de eficiencia de las unidades aptas para realizar el viaje.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Es necesario realizar un estudio de la demanda y necesidades de los viajes para determinar los vehículos que se requieren incorporar a largo plazo mediante una política de renovación y así disminuir el problema de disponibilidad.
- Es importante mantener el seguimiento y actualización anual de la información presentada en la línea base para determinar las mejoras en el consumo de combustible y en la configuración de la flota.
- Para mantener un adecuado seguimiento y aprovechamiento del software de seguimiento de consumo institucional debe capacitarse a una persona para monitorear el consumo semanal, mensual y anual de cada unidad para determinar las acciones de mejora en el consumo de combustible de la flota o los avances realizados.
- Para aprovechar y facilitar el uso del software de seguimiento de combustible institucional, se recomienda agregar el rendimiento en l/100km por viaje, semana, mes y año para cada vehículo.
- Es necesario incorporar un representante de GASEL en la definición de las características técnicas de los vehículos para apoyar al coordinador en la selección de tecnologías eficientes.

## **APENDICES**

**APÉNDICE 1: VISUALIZACIÓN DE LA INTERFAZ DE LA HOJA DE CÁLCULO**

**Cuadro A.1.1 Visualización de la interfaz de la hoja de cálculo**

		fecha											
Propuesta de asignador de vehículos													
	¿Se necesita que conductor repita viajes?	Condiciones de carretera	Cantidad de pasajeros	Distancia total del viaje	Vehículos recomendado	Vehículo obligatorio por características del servicio	Departamento	Lugar	Salida	Regreso	N° Solicitud		
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													



## **ANEXOS**

**ANEXO 1: LÍMITES DE LOS CONTAMINANTES REGULADOS EN LAS  
NORMAS EURO PARA VEHÍCULOS LIVIANOS DE PASAJEROS**

Norma	Masa de monóxido de carbono (CO)(mg/km)	Masa de hidrocarburos (HC) (mg/km)	Masa de hidrocarburos (HC) (mg/km)	Masa de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) (mg/km)	Masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (HC+NO <sub>x</sub> ) (mg/km)	Masa de partículas (mg/km)	Masa de Hidrocarburos No metanos (NMCH) (mg/km)					
Tipo de combustible	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	
Euro 3	2300	640	200	--	150	500	--	560	--	5	--	
Euro 4	1000	500	100	--	80	250	--	300	--	5	--	
	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI <sup>(2)</sup>	CI	PI	CI
Euro 5	1000	500	100	--	60	180	--	230	5	5	68	--
Euro 6	1000	500	100	--	60	80	--	170	5	5	68	--

Fuente:(Ministerio del Ambiente de Perú, 2016; Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2007; Parlamento Europeo y del Consejo, 1999)

**ANEXO 2: CRONOGRAMA DE APLICACIÓN DE ESTÁNDARES DE EMISIONES PARA COSTA RICA**

<b>Año de importación</b>	<b>Norma de cumplimiento</b>
A partir del 1° de enero de 2018	Euro 4, Tier 2 o superior
A partir del 1° de enero de 2021	Euro 6, Tier 3 o superior

Fuente:(Poder Ejecutivo, 2017)

## 7. REFERENCIAS

- Asamblea Legislativa República de Costa Rica. (2016). Reglamento No. 39724 - Control Emisiones Contaminantes producidas por los Vehículos Motor de Combustión Interna.
- Asociación Española de Gestores de Flotas Automoviles (AEGFA). (2014). Manual del Gestor de Flotas, 14–18. Recuperado a partir de [http://www.erke.biz/files/galeria/manual\\_01.pdf](http://www.erke.biz/files/galeria/manual_01.pdf)
- Briceño, J., Herrera, J., Solórzano, D., Beita, V., & Rojas, J. (2015). *Sexto Informe de Calidad del Aire Área Metropolitana de Costa Rica 2013-2015*. San José, Costa Rica.
- Calderon, E. (2016). *Diseño del sistema de gestión para demostrar la Carbono Neutralidad del Centro de Acopio la Sylvia*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado a partir de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6456/diseño\\_sistema\\_gestion\\_de\\_mostrar\\_carbono\\_neutralidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6456/diseño_sistema_gestion_de_mostrar_carbono_neutralidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Centro de Desarrollo Virtual (CEDEVI). (2010). Instrumento de caracterización de experiencias, (2002), 1.
- Chacón, R., Jiménez, G., Jhonny, M., Sasa, J., & Blanco, K. (2012). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono*. San José, Costa Rica.
- Cobos, M. (2010). Capítulo 2 . Gestión Eficiente De Flotas . En *Métodos para la Gestión Eficiente de Combustible en flotas de vehículos de rutas fijas*. Recuperado a partir de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4824/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). Huella de Carbono. Recuperado el 30 de enero de 2018, a partir de <http://biblioguias.cepal.org/huellacarbono>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2015). Diagnóstico Energético Integral en las flotas vehiculares de la administración. Recuperado a partir de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/94386/Guia\\_para\\_elaboracion\\_de\\_los\\_DE\\_I\\_FV\\_8\\_7\\_15.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/94386/Guia_para_elaboracion_de_los_DE_I_FV_8_7_15.pdf)
- Contraloría General de la República. (2018). Informe de Auditoría de carácter especial acerca del marco regulatorio para la promoción del uso de vehículos eficientes en cuanto al consumo de energía. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, a partir de [https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs\\_cgr/2018/SIGYD\\_D\\_2018019336.pdf](https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2018/SIGYD_D_2018019336.pdf)

- De Wilde, H. P. J., & Kroon, P. (2013). Policy options to reduce passenger cars CO2 emissions after 2020, (February).
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2014). Manual: Administración de flotas de transportes. *Programa Acción Clima*, 41.
- Dirección General de Calidad Ambiental de Cataluña. (2015). *Guía para la compra verde de vehículos*.
- Generalitat Valenciana. (2016). Guía para la elaboración de los estudios de línea de base de los proyectos subvencionados por la Generalitat Valenciana. Recuperado a partir de <http://www.transparencia.gva.es/ca/web/cooperacion/guia-para-la-elaboracion-de-los-estudios-de-linea-de-base-de-los-proyectos-subvencionados-por-la-generalitat-valenciana>
- Granados, A., & Madrigal, R. (2014). Posiciones del Estado de Costa Rica ante las Conferencias de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COPs). *FES COSTA RICA*, 1(NO 1/2014). Recuperado a partir de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/11115.pdf>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2006). *Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/mains1.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/mains1.html)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. *IPCC*, 31. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- International Energy Agency (IEA). (2016). Statistics CO2 emissions from fuel combustion.
- Jung, J., & Koo, Y. (2018). Analyzing the effects of car sharing services on the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10020539>
- Kopfer, H. W., Schönberger, J., & Kopfer, H. (2014). Reducing greenhouse gas emissions of a heterogeneous vehicle fleet. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1–2), 221–248. <https://doi.org/10.1007/s10696-013-9180-9>
- Lah, O. (2015). The barriers to low-carbon land-transport and policies to overcome them.

- European Transport Research Review*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s12544-014-0151-3>
- Leung, S. C. H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., & Lim, M. K. (2013). A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 225(2), 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.023>
- Loyola, B. A., Sandoval, E., & Galvez, J. (2016). Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de los ciclos de conducción, 62.
- Ma, H., Balthasar, F., Tait, N., Riera-Palou, X., & Harrison, A. (2012). A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy Policy*, 44, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.034>
- Mangia Amagua, J. C. (2017). *Cálculo de la huella de carbono de la empresa de servicios logísticos RANSA y determinación de oportunidades de mejora para la aplicación de sistemas de producción más limpia*. Universidad Internacional SEK.
- Mejías-Elizondo, R. (2018). *Sistema de gestión para la certificación carbono neutralidad en el Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Messagie, M., Boureima, F. S., Coosemans, T., Macharis, C., & Mierlo, J. Van. (2014). A range-based vehicle life cycle assessment incorporating variability in the environmental assessment of different vehicle technologies and fuels. *Energies*, 7(3), 1467–1482. <https://doi.org/10.3390/en7031467>
- Ministerio de Ambiente, E. y T. (2009). Estrategia Nacional de Cambio Climático.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2015). *Plan Nacional de Energía 2015-2030*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de <http://www.minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2008). ANALISIS E IMPLEMENTACIÓN DE CRITERIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN GESTIÓN DE FLOTAS DE TRANSPORTE PARA EL SECTOR PÚBLICO.
- Ministerio del Ambiente de Perú. (2016). Preguntas y Respuestas para entender el caso del Euro IV Perú, 19. Recuperado a partir de

[http://infoaire.minam.gob.pe/INFOAIRE/archivos/zona-educativa/publicacion/preguntas\\_respuestas\\_Euro\\_IV.pdf](http://infoaire.minam.gob.pe/INFOAIRE/archivos/zona-educativa/publicacion/preguntas_respuestas_Euro_IV.pdf)

- Montag, J. (2015). The simple economics of motor vehicle pollution: A case for fuel tax. *Energy Policy*, 85, 138–149. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.05.020>
- Observatorio de Logística y Sustentabilidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires. (2015). Guía de Gestión Sustentable de Flotas de Vehículos de Transporte de carga por carretera.
- Parlamento Europeo, & Consejo de la Unión Europea. (2007). Reglamento (Ce) N° 715/2007 Del Parlamento Europeo Y Del Consejo.
- Parlamento Europeo y del Consejo. Directiva 1999/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de Diciembre de 1999, 31 § (1999).
- Poder Ejecutivo. (2017). Reforma Reglamento para el control de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos automotores con motor de combustión interna N° 40108 - MOPT-MINAE-S. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83242&nValor3=106782&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83242&nValor3=106782&strTipM=TC)
- Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. (2016). *Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Costa Rica.
- Ramírez, L. A. F. (2014). *Estudio sobre “ Diagnósticos y planes energéticos en el transporte de carga para pequeños transportistas y hombres- camión ” en México*. Recuperado a partir de [http://transport-namas.org/wp-content/uploads/2015/09/Informe\\_Final\\_Diagnosticos\\_y\\_planes\\_energeticos\\_en\\_el\\_transporte\\_de\\_carga\\_HC\\_y\\_PT.pdf](http://transport-namas.org/wp-content/uploads/2015/09/Informe_Final_Diagnosticos_y_planes_energeticos_en_el_transporte_de_carga_HC_y_PT.pdf)
- Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). (2017). Evolucionan la calidad de combustibles. Recuperado el 30 de abril de 2018, a partir de <https://www.recope.go.cr/evolucionan-la-calidad-de-combustibles/>
- Refinería Costarricense de Petróleo. (2017). ARESEP confirma calidad de combustibles. Recuperado a partir de <https://www.recope.go.cr/aresep-confirma-calidad-de-combustibles/>
- Sánchez, S., Green, J., Orjuela, J. P., & Klakamp, J. (2013). Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización

- de datos. *Clean Air Institute*, 38.
- Steinvorth, A. (2015). Mecanismos para la renovación del parque vehicular en Costa Rica. *CEGESTI, Éxito empresarial*, (300), 1–3.
- Subsecretaria de Ahorro y Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minería de Argentina. (2017). Guía de gestión eficiente transporte automotor de cargas de la República de Argentina.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017). *Fuel Economy Guide*. Recuperado a partir de [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2017). Carbon Dioxide Emissions. Recuperado el 12 de enero de 2018, a partir de <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#carbon-dioxide>
- Villalobos, J., & Wilmsmeier, G. (2016). Estrategias y herramientas para la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte de carga por carretera. *Boletín FAL*, (349), 1–11.
- Wang, J. M., Jeong, C., Zimmerman, N., Healy, R. M., & Evans, G. J. (2018). Real world vehicle fleet emission factors: Seasonal and diurnal variations in traffic related air pollutants, *184*(November 2017), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.015>
- Yolanda, M., & Morales, R. (2002). Diagnósticos Energéticos en Empresas de Autotransporte. Dos casos de aplicación., (191).
- Zhang, Q., Fan, J., Yang, W., Ying, F., Bao, Z., Sheng, Y., ... Chen, X. (2018). Influences of accumulated mileage and technological changes on emissions of regulated pollutants from gasoline passenger vehicles. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.03.021>