



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

ESTUDIO DE LA HUELLA DE CARBONO GENERADO POR LOS NEUMÁTICOS Y  
ACEITES LUBRICANTES USADOS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL 2016

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: DIEGO ILAN GARCÍA PONTÓN  
ERICK SANTIAGO VERGARA PULGARIN  
TUTOR: ING. JUAN DIEGO VALLADOLID QUITOISACA, MSc.

Cuenca - Ecuador  
2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Diego Ilan García Pontón con documento de identificación N° 0750279556 y Erick Santiago Vergara Pulgarin con documento de identificación N° 0150915692; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 15 de diciembre del 2022

Atentamente,



---

Diego Ilan García Pontón

0750279556



---

Erick Santiago Vergara Pulgarin

0150915692

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Diego Ilan García Pontón con documento de identificación N° 0750279556 y Erick Santiago Vergara Pulgarin con documento de identificación N° 0150915692, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Estudio de la huella de carbono generado por los neumáticos y aceites lubricantes usados en el vehículo eléctrico KIA Soul 2016”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de diciembre del 2022

Atentamente,



---

Diego Ilan García Pontón

0750279556



---

Erick Santiago Vergara Pulgarin

0150915692

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Juan Diego Valladolid Quitoisaca con documento de identificación N° 0104821210, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE LA HUELLA DE CARBONO GENERADO POR LOS NEUMÁTICOS Y ACEITES LUBRICANTES USADOS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL 2016, realizado por Diego Ilan García Pontón con documento de identificación N° 0750279556 y por Erick Santiago Vergara Pulgarin con documento de identificación N° 0150915692, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de diciembre del 2022

Atentamente,



---

Ing. Juan Diego Valladolid Quitoisaca, MSc.

0104821210



**DEDICATORIA**

*Este trabajo de titulación representa todo el esfuerzo, dedicación y pasión que le he puesto durante estos años a mi carrera, por lo que en primer lugar me dedico este proyecto a mí por no haberme dado por vencido pese a las adversidades que se presentaron en el camino.*

*También se lo dedico a toda mi familia que siempre creyeron en mí, en especial a mis padres, Cesar Vergara y Silvia Pulgarin que durante toda mi vida me han brindado su amor, apoyo, esfuerzo y sacrificio para llegar a realizarme como profesional y sobre todo como una persona de valores éticos y morales.*

***Erick Santiago Vergara Pulgarin***

**DEDICATORIA**

*A mi madre y padre que son los pilares que asentaron las bases de quien yo soy, a mi familia porque sin su apoyo y consejos no hubiera tenido la creatividad para enfrentarme a los retos de la vida estudiantil, y sin olvidar a los docentes que son parte fundamental de nuestra formación académica.*

***Diego Ilan García Pontón***

**AGRADECIMIENTO**

*El poder llegar hasta este punto de mi carrera profesional se lo debo a muchas personas que durante el proceso me han aportado con conocimientos, valores y sabiduría. Aunque me resulta imposible agradecerlos a todos quiero mencionar a quienes considero los más importantes dentro de mi desarrollo profesional, empezando por mis padres que me brindaron la educación, que es la herramienta más importante para desenvolverme en la vida profesional.*

*Quiero agradecer también a mis profesores de la universidad y próximamente colegas que compartieron sus conocimientos conmigo y mis compañeros de clase, en especial al Ingeniero Juan Diego Valladolid Quitoisaca por la disposición y colaboración al desarrollar este proyecto de titulación.*

***Erick Santiago Vergara Pulgarin***

**AGRADECIMIENTO**

*Es justo y necesario agradecer a ti Dios por darme la fortuna de tener una familia que se preocupa por mí, si ti no soy nadie.*

*Gracias a mi familia por su sacrificio y vigilia constante, que sin su apoyo me hubiera encontrado en un mar de soledad.*

*Gracias a los amigos que se alegran de mis éxitos, que me brindaron su apoyo y me dijeron que siga adelante.*

*Gracias a los docentes por sus consejos y gran paciencia, porque supieron enseñar más allá de un tema de clase.*

***Diego Ilan García Pontón***

## **Resumen**

El desarrollo del presente trabajo de titulación se enfoca en la determinación de la huella de carbono de un vehículo eléctrico y uno de combustión de semejantes características, durante su etapa de vida útil, en donde hacen uso de aceites lubricantes, neumáticos, electricidad o combustible para funcionar, por lo tanto, la huella de carbono se determina con respecto a la producción de estos elementos.

Al realizar una investigación literaria y desarrollar un estado del arte se obtuvo los datos estadísticos y parámetros necesarios para generar una metodología que permita determinar las emisiones de dióxido de carbono de los vehículos analizados, para luego compararlos mediante el uso de un software estadístico.

Por último, en base a las estadísticas generadas se procedió a realizar proyecciones del comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono al modificar los parámetros de cada elemento analizado.

***Palabras Claves:** huella de carbono, dióxido de carbono, software estadístico.*

### **Abstract**

The development of this degree work focuses on the determination of the carbon footprint of an electric and combustion vehicle of similar characteristics, during its useful life stage, where they use lubricating oils, tires, electricity or fuel to function. therefore, the carbon footprint is determined with respect to the production of these items.

By carrying out a literary investigation and developing a state of the art, the necessary statistical data and parameters were obtained to generate a methodology that allows determining the carbon dioxide emissions of the analyzed vehicles, to later compare them through the use of statistical software.

Finally, based on the generated statistics, we proceeded to make projections of the behavior of carbon dioxide emissions by modifying the parameters of each element analyzed.

***Keywords:*** *carbon footprint, carbon dioxide, statistical software.*

## Índice General

<i>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</i>	
<i>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</i>	<i>III</i>
<i>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</i>	<i>IV</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>VI</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>VIII</i>
<i>Resumen</i>	<i>1</i>
<i>Abstract</i>	<i>2</i>
<i>Índice General</i>	<i>3</i>
<i>Introducción</i>	<i>6</i>
<i>Problema</i>	<i>7</i>
<i>Antecedentes</i>	<i>7</i>
<i>Importancia y Alcances</i>	<i>8</i>
<i>Delimitación</i>	<i>8</i>
<i>Objetivos</i>	<i>9</i>
<i>Objetivo General</i>	<i>9</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>9</i>
<i>Capítulo 1</i>	<i>10</i>
<i>Fundamentos Teóricos</i>	<i>10</i>
<i>Cambio Climático</i>	<i>10</i>

<b>Introducción A La Huella De Carbono .....</b>	<b>12</b>
Alcance Uno. ....	16
Alcance Dos.....	16
Alcance Tres. ....	16
<b>Matriz Energética Del Ecuador.....</b>	<b>17</b>
<b>Objeto De Estudio.....</b>	<b>18</b>
<b>Neumáticos.....</b>	<b>20</b>
<b>Lubricantes .....</b>	<b>22</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>25</b>
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>26</b>
<b>Determinación de la huella de carbono.....</b>	<b>26</b>
<b>Huella De Carbono Según La Matriz Energética Del Ecuador .....</b>	<b>27</b>
<b>Huella De Carbono De Los Neumáticos.....</b>	<b>31</b>
<b>Huella De Carbono De Los Aceites Lubricantes .....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>37</b>
<b>Análisis de resultados.....</b>	<b>37</b>
<b>Contaminación producida por el consumo energético del KIA Soul .....</b>	<b>37</b>
<b>Uso de lubricante sintético en los dos vehículos a experimentar .....</b>	<b>46</b>
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>52</b>
<b>Proyecciones de emisiones .....</b>	<b>52</b>
<b>Uso de materia prima alternativa en neumáticos para reducir la huella de carbono</b> .....	<b>55</b>

<i>Resultados de la proyección en el uso de aceites lubricantes de base mineral y sintético. ....</i>	<i>56</i>
<i>Lubricantes sintéticos utilizado en el vehículo KIA Soul convencional.....</i>	<i>57</i>
<i>Lubricante mineral utilizado en el vehículo KIA Soul convencional.....</i>	<i>59</i>
<i>Lubricantes sintéticos utilizado en el vehículo KIA Soul EV.....</i>	<i>61</i>
<i>Lubricante mineral utilizado en el vehículo KIA Soul EV. ....</i>	<i>63</i>
<i>Conclusiones .....</i>	<i>65</i>
<i>Recomendaciones .....</i>	<i>65</i>
<i>Bibliografía .....</i>	<i>66</i>

## **Introducción**

El proyecto propuesto sobre el “Estudio de la huella de carbono generado por los neumáticos y aceites lubricantes usados en el vehículo eléctrico KIA Soul 2016”, se basa en la investigación literaria referente a la huella de carbono y la aplicación de esta en el campo automotriz de las nuevas tecnologías como los son los vehículos eléctricos.

La información y datos obtenidos permiten realizar un modelo estadístico que refleje la huella de carbono generada por los neumáticos y aceites lubricantes. También se analiza el impacto que tiene la producción de la energía que se utiliza en los vehículos eléctricos, teniendo como escenario de análisis el Ecuador, tomando en cuenta la matriz energética del país, puesto que cuenta con diversas fuentes de producción eléctrica dependiendo la región.

## **Problema**

La creciente incertidumbre referente sobre si el uso de combustibles fósiles puede seguir siendo sostenible debido a sus efectos en el cambio climático, ha provocado que en los últimos años se innove en nuevas tecnologías dentro de la automoción, tal es el caso de la electrificación de los vehículos que se muestra como una alternativa amigable con el medio ambiente al no generar gases de efecto invernadero (GEI) durante su funcionamiento como lo hacen los vehículos a combustión, sin embargo, hay que tener en cuenta que si bien estos vehículos no utilizan combustible para su funcionamiento, si poseen componentes que por su naturaleza no son amigables con el medio ambiente, como es el caso de los neumáticos y los aceites lubricantes. Incluso la producción eléctrica para poner en funcionamiento este tipo de vehículos puede generar cierto grado de contaminación dependiendo la fuente de donde se obtenga la energía.

Por lo tanto, se vuelve necesario realizar un estudio de huella de carbono que permita cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan al momento de poner el marchar un vehículo eléctrico.

## **Antecedentes**

La automoción actualmente se encuentra en una de sus etapas más importantes de la historia, dado que la era de la electrificación cada vez va tomando más importancia en la industria y con ello nuevas tecnologías que buscan incrementar la eficiencia de la movilidad a como lo es hoy en día con los vehículos a combustión. Sin embargo, la implementación de nuevas tecnologías conlleva también la aparición de nuevas formas en las que se puede llegar a contaminar el medio ambiente, por tal motivo la importancia de realizar análisis que permitan en desarrollar mecanismos de mitigación contra posibles afecciones al medio ambiente.

## Importancia y Alcances

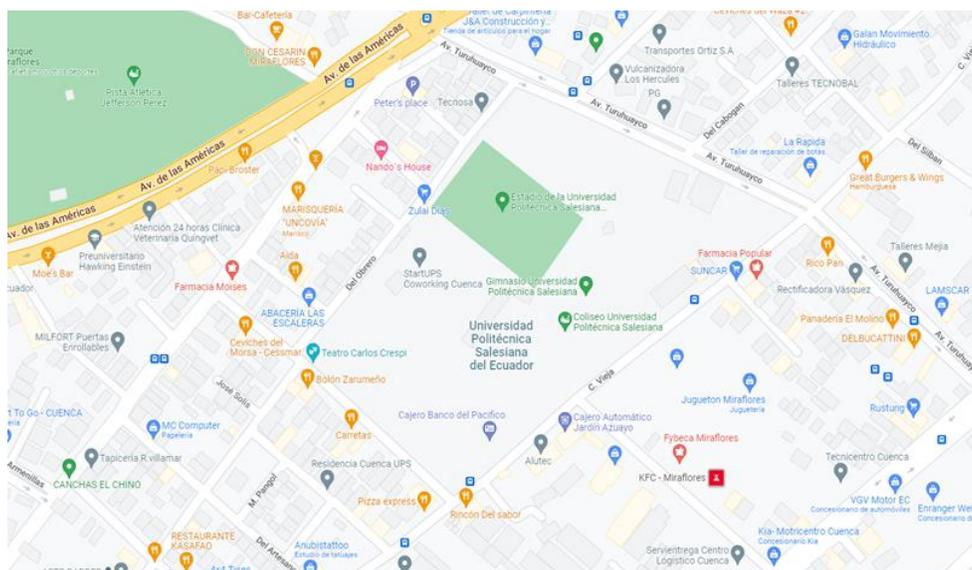
El beneficio al grupo de investigación EMOLAB de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, con el aporte al conocimiento acerca del análisis de la huella de carbono enfocada en un vehículo eléctrico KIA Soul propiedad de la Universidad, lo cual permitirá saber la producción de GEI, en concreto de CO<sub>2</sub> durante el proceso de poner en marcha un vehículo de este tipo.

## Delimitación

El presente proyecto, se llevará a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Cuenca perteneciente a la Provincia del Azuay, ubicada al sur del Ecuador. Ciudad que se encuentra a una altitud de 2538 m.s.n.m. con una extensión territorial de 15730 hectáreas y una población aproximada de 580000 habitantes.

## Figura 1

*Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*



*Nota.* Tomado de Google Maps.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar la huella de carbono generada por los neumáticos y lubricantes utilizados en el vehículo KIA Soul Eco-electric 2016

### **Objetivos Específicos**

Generar un estado del arte en base a la literatura ya existente sobre la huella de carbono producida por los vehículos eléctricos.

Establecer una metodología que permita recolectar datos cuantitativos de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas para poner en marcha un vehículo eléctrico.

Determinar por medio del cálculo de la huella de carbono la emisión de CO<sub>2</sub> producida por los neumáticos, lubricantes usados y la producción eléctrica.

Presentar los resultados de la investigación y con ello recomendar soluciones para aportar a la reducción de residuos contaminantes.

## Capítulo 1

### Fundamentos Teóricos

#### Cambio Climático

De acuerdo con la Organización de Las Naciones Unidas (1992) el cambio climático es “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparable”.

En los últimos años se ha puesto especial énfasis a la implementación de medidas que ayuden a mitigar los riesgos del cambio climático, tal y como lo plantea El Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2022). Para lograr un medio ambiente sostenible es imprescindible aplicar instrumentos jurídicos internacionales que mantengan un control adecuado y procuren dar soluciones al problema del calentamiento global, donde los involucrados lleguen a acuerdos que estén obligados a cumplir y respetar los compromisos adquiridos.

Para el manejo del calentamiento global a la fecha existen diversos instrumentos jurídicos, pero los más importantes son los siguientes.

#### ***Protocolo De Kioto (PK)***

Fue un convenio internacional realizado por las Unión Europa y los países industrializados; el protocolo de Kyoto fue creado dentro del Marco de las Naciones Unidas, el cual contiene un total de veinte y ocho artículos que en su mayoría se enfocan en la reducción de los gases de efecto invernadero y en el cumplimiento de esta normativa para cada país que adopte este convenio (Naciones Unidas, 1998). En el portal web de las Naciones Unidas (2015) se publicó que “Ecuador acepta la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto” en la cual afirma que nuestro país está en

proceso de aceptación, pero requiere de la aprobación de tres cuartas partes de los países miembros del protocolo, con esto Ecuador se compromete a limitar por ley sus emisiones de GEI y debe tomar medidas para cumplir con estas obligaciones.

Con la unión al protocolo el Ecuador está dando un paso agigantado hacia el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de los ecuatorianos, es también un gran aporte al planeta en general, con relación a países como China, Estados Unidos, Reino Unido y más países desarrollados, Ecuador está participando en la reducción o mitigación de la producción de CO<sub>2</sub> y esto sería su contribución al cambio climático del planeta, por eso se considera un gran paso al crecimiento.

### ***Convención Marco De Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático (CMNUCC)***

Fundado en 1994 en el mes de marzo, es una “Convención de Río” que cuenta con la participación de 197 países, a cada uno de estos miembros se los denominan “partes de la convención”. Dado que, gracias a reportes de investigaciones científicas que demuestran evidencia sobre los daños ambientales debido a las acciones humanas, los miembros de la convención se vieron obligados a tomar medidas al respecto. (CMNUCC, 2022)

El objetivo fundamental del CMNUCC es estabilizar los niveles de concentración de los gases de efecto invernadero, los cuales son resultado de interferencias antropógenos peligrosas en el sistema climático. Se requiere reducir el nivel de emisiones hasta alcanzar uno suficiente que permita a los ecosistemas adaptarse naturalmente al cambio climáticos, asegurando así la producción de alimentos y que no se vea afectada, permitiendo el desarrollo económico de manera sostenible. (CMNUCC, 2022)

Está comprobado que los países desarrollados son las mayores fuentes contaminantes en el planeta, es por eso, que la idea principal del CMNUCC es que sean las grandes naciones las que

prioricen la reducción de gases de efecto invernadero. Y sean los mismos países desarrollados los que ayuden a los demás países en desarrollo de forma financiera en reducir sus emisiones. (CMNUCC, 2022)

### ***Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático (IPCC)***

El grupo IPCC trabaja mediante el análisis de datos o información que se obtiene de las diferentes actividades humanas que representan cambios climáticos. Mediante informes anuales y documentos especializados se evalúa la producción de GEI y sus consecuencias. Este grupo de trabajo se divide en tres áreas y un equipo especial. La evaluación de los sistemas de adaptación y cambio climático son responsabilidad de la primera área; la segunda se enfoca en la disponibilidad, las fallas y sus posibles efectos de los sistemas socioeconómicos ya sean negativos o positivos así como su disponibilidad; la tercera área es responsable de la gestión de los límites de emisión de gases de efecto invernadero, mientras tanto el equipo especial es responsable de la contabilidad y documentación anual de los gases de efecto invernadero producidos por las empresas. (IPCC, 2013)

### **Introducción A La Huella De Carbono**

La huella de carbono se trata de una metodología que permite determinar el impacto que tiene en el clima la emisión de GEI a la atmosfera en consecuencia de una determinada actividad humana. Para determinar la huella de carbono existen protocolos que ayudan a estimar y calcular las emisiones de GEI.

En la normativa ISO 14067 (2018) se define a la huella de carbono de un producto (HCP) como la cuantificación y remoción de GEI en un producto que se expresa en masa de CO<sub>2</sub> por unidad funcional, mediante la evaluación de las etapas del ciclo de vida.

Una forma general para evaluar el ciclo de vida de un producto empieza con la extracción de la materia prima y producción de los materiales, luego los materiales pasan a los proveedores que se encargan de la fabricación, una vez que se obtiene el producto es transportado a través de los medios de transporte necesarios desde la fábrica hasta el proveedor para su posterior comercialización a la empresa automotriz la cual se encarga del montaje en el vehículo. Determinado producto tras cumplir su vida útil en el vehículo es desechado para recibir un tratamiento final.

Según Córdoba (2018) el estudio de la huella de carbono se perfila como una herramienta de importante aplicación dentro de las empresas para cuantificar la emisión de GEI y es capaz de disminuir los impactos ambientales.

Para Bossio (2014) la huella de carbono permite identificar las fuentes productoras de GEI, lo que brinda una referencia para implementar medidas que reduzcan las emisiones y ayuden a mitigar el calentamiento global, también la organización que lo aplique estará demostrando su compromiso medioambiental a la vez que puede reducir costos y satisfacer a sus clientes con la demanda de información, por último le permitirá cumplir con los requisitos internacionales que se exigen para poder exportar un producto.

### ***Metodologías Para La Estimación De La Huella De Carbono***

En el panorama internacional se busca reducir los GEI por lo que se opta por el cálculo la huella de carbono, que a su vez es parte del análisis de la vida útil de un producto, sistemas de productos y servicios. En consecuencia, se debe considerar que para la estimación de la huella de carbono existen diversas metodologías internacionales que son aplicadas a las industrias y los productos, las mismas que se mencionan a continuación.

**GHG Protocol.** Se trata de una metodología compleja pero que brinda resultados eficaces en la estimación de GEI ya sean directos o indirectos. Su aplicación se establece especialmente en empresas internacionales en las que se desea determinar la producción de GEI por año. Emplea una metodología sectorial para la cuantificación de emisiones ya sea directamente dentro de la empresa y también indirectamente fuera de la empresa como puede ser durante los procesos para la extracción de materia prima. (The Greenhouse Gas Protocol, 2003)

**Norma PAS 2050:2008 (Huella De Carbono De Un Producto).** La norma PAS 2050 fue creada para la orientación del proceso de evaluación de los GEI de productos aplicando la técnica del análisis del ciclo de vida (ACV). Esta normativa se especializa en dos tipos de estudio del ciclo de vida, dependiendo la funcionalidad del producto, por lo que puede ser de Business to Business, para casos donde el ciclo de vida del producto termina cuando es entregado a otra entidad para crear otro producto y Business to Customer, en este caso se considera un ciclo de vida completo, es decir, se considera hasta las actividades luego de la entrega del producto. (Asociación Española para la Calidad, 2011)

**Norma PAS 2060 (Neutralidad De Carbono).** La norma PAS 2060 se presenta como un respaldo de que la organización que la está aplicando es carbono neutro. Para demostrar la neutralidad de carbono esta normativa especifica un proceso que se basa primero en la evaluación de la emisión de GEI, seguido de la implementación de estrategias para la reducción de emisiones, luego se debe realizar la compensación del excedente de emisiones y por último realizar una documentación y verificación a través de declaraciones públicas. (British Standar Institution, 2022)

**Norma ISO 14067:2013 (Huella De Carbono).** La normativa ISO 14067 fue creada para cuantificar de todas las formas existentes las emisiones de efecto invernadero dentro del estudio

de la huella de carbono de un producto. Contiene las especificaciones de los principios, requisitos y directrices para cuantificar las emisiones de manera coherente, también recalca que el resultado de la cuantificación de la huella de carbono no es modificable, es decir, que este estudio revela la cantidad de emisión y esto no puede ser alterado de ninguna manera. Queda expuesto para la toma de decisiones en la prevención de los GEI (British Standards Institution , 2008).

**Norma ISO 14064 (Sistema De Gestión De Gases De Efecto Invernadero).** Esta normativa se compone de tres secciones, la ISO 14064-1 está orientada a nivel de organizaciones, mientras que la ISO 14064-2 se orienta a nivel de proyectos y por último la ISO 14064-3 contiene las especificaciones para validar y verificar declaraciones. Por lo tanto, esta normativa contiene las directrices para la fijación de un límite de emisiones de GEI a la vez que se puedan cuantificar para identificar las actividades que las producen y mejorar la gestión. También menciona que para la gestión de los GEI son necesarios informes, las auditorías internas y las responsabilidades de la organización en las actividades de verificación. (Asociación Española para la Calidad, 2011)

### ***Procedimiento Para El Cálculo De La Huella De Carbono***

Tomando en cuenta las normativas y metodologías internacionales que se mencionaron anteriormente, Jiménez (2010) menciona que una forma generalizada de realizar el cálculo de la huella de carbono de forma correcta debe considerar los siguientes aspectos.

**Periodo De Tiempo.** La fiabilidad del cálculo dependerá mucho del periodo de tiempo en el que se realice el análisis, de acuerdo con las normativas internacionales (ISO 14067, PAS 2050, GHG Protocol) lo óptimo es realizar este análisis en un periodo de tiempo anual considerando el año base. (Jiménez, 2010)

**Alcance Del Cálculo.** En este punto se busca determinar los procesos y actividades que producen GEI mediante el alcance que tengan.

**Alcance Uno.** Fuentes que emiten de GEI de forma directa.

**Alcance Dos.** Fuentes indirectas de GEI a partir de la generación eléctrica y su consumo.

**Alcance Tres.** Las emisiones resultado de la extracción, producción y transporte de elementos básicos. (Jiménez, 2010)

**Recolección De Información.** Se realiza una recopilación de datos referentes al ciclo de vida del producto. La precisión del resultado dependerá de la cantidad de información que se logre obtener, entre la que debe constar la elaboración y las etapas de producción. (Jiménez, 2010)

**Factores De Emisión.** El factor de emisión se trata de la cantidad de emisiones de gases contaminantes que han sido expulsadas a la atmosfera. Este factor dependerá de la actividad que se esté analizando por lo que existe una tabla general para el cálculo. (Jiménez, 2010)

**Cálculo De La Huella De Carbono.** La aplicación de factores de emisión documentados sirve para una mejor aproximación para el cálculo de la huella de carbono, debido a que no es muy común ni preciso realizar un monitoreo de la concentración de emisiones de GEI.

Entonces, una de las formas en las que se puede calcular la huella de carbono es en base a lo que menciona la normativa PAS 2050, la cual dice que se debe multiplicar los datos de la actividad por el factor de emisión por el potencial de calentamiento global. Hay que tener en cuenta también que el cálculo se lo puede realizar enfocado ya sea a un producto o una organización. (Jiménez, 2010)

$$HC(kgCO_2eq) = \text{datos de actividad} * \text{factor de emisión} * GWP \left( kg \frac{CO_2eq}{kgGEI} \right) \quad (1)$$

**HC** = actividad (unidad de masa, volumen)

**FE** = CO<sub>2</sub> equivalente por actividad

**GWP** = potencial de calentamiento global (Jiménez, 2010)

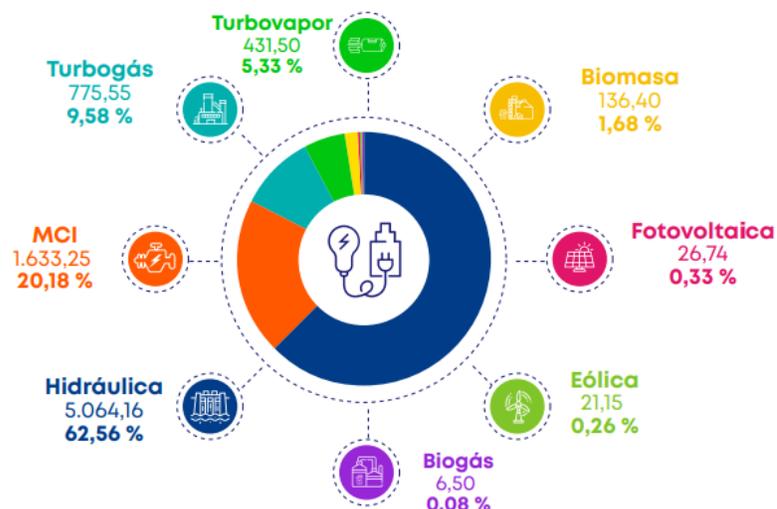
Cabe mencionar que para calcular la huella de carbono se tendrá que considerar el caso de estudio y en base a esto determinar si la ecuación (1) resulta viable para el análisis, caso contrario se tendrá que realizar los cálculos necesarios que permitan cuantificar la producción de CO<sub>2</sub> en unidades de kg-CO<sub>2</sub>

### Matriz Energética Del Ecuador

Según datos estadísticos presentados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) (2021) durante el año 2020 en el Ecuador la producción de energía eléctrica efectiva fue de 63.17% proveniente de fuentes renovable y de 36.83% de fuentes no renovable.

### Figura 2

*Potencia efectiva en generación eléctrica en el Ecuador en el 2020.*



*Nota.* Tomado de ARCERNNR (2021).

Debido a varios factores como lo son las condiciones geográficas, de relieve, climáticas, sociales y económicas, la obtención de energía eléctrica en el Ecuador se produce de diferentes maneras dependiendo la región, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción eléctrica

varían. La generación hidroeléctrica, fotovoltaica y eólica son las que menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> producen, las mismas que se encuentran mayormente en la región sierra y amazonia, mientras que en la región costa predominan las centrales térmicas con altas emisiones de CO<sub>2</sub> ya que basan su funcionamiento en motores a combustión, turbovapor, turbogas, biomasa y biogás. (Jorge Hernández, 2022)

**Tabla 1**

*Participación en la generación de energía eléctrica en el Ecuador en el 2020 según el informe de ARCERNNR (2021).*

Tipo de producción	Potencia efectiva (MW)	Aporte de generación (%)	Coefficiente de generación (CG)
Hidráulica	5036.43	62.58	0.6258
Fotovoltaica	26.74	0.33	0.0033
Eólica	21.15	0.26	0.0026
Térmica	2963.79	36.83	0.3683
Total	8048.11	100.00	1.0000

### **Objeto De Estudio**

El presente estudio se enfoca en los productos derivados del petróleo utilizados en un vehículo eléctrico, específicamente hablamos del KIA Soul Eco-Electric 2016 perteneciente al grupo de investigación EMOLAB de la carrera de Ingeniería Automotriz de una Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca.

Como parte de las nuevas tecnologías que se están aplicando en el país, este vehículo eléctrico (EV) será objeto de estudio para la determinación de las emisiones que indirectamente

produce esta nueva forma de movilización. Esto brindará una estimación de cuan contaminante resulta el uso de este tipo de tecnología.

Por lo tanto, el enfoque se lo da a los neumáticos y aceites lubricantes considerando que estos elementos al ser derivados del petróleo generan contaminación. Para esto a continuación se menciona parte fundamental de las características que contiene este tipo de vehículo en base a la información que proporciona el manual del fabricante (KIA Motors, 2016), el sitio web para toda Latinoamérica exclusivo de la marca (KIA Media, 2022), y también lo mencionado por Jorge Hernández (2022).

**Tabla 2**

*Características técnicas del vehículo, de acuerdo con Jorge Hernández (2022).*

Parámetro	Símbolo	Unidad SI	KIA Soul	KIA Soul EV
Tipo de carrocería	-	-	Monovolumen	Monovolumen
Número de puertas	-	-	5	5
Número de pasajeros	N	-	5	5
Sistema de propulsión	-	-	Basada en MCI	Basada en MCI
Dimensiones (L×An×Al)	-	m	4.14 × 1.8 × 1.62	4.14 × 1.8 × 1.62
Batalla	-	m	2.57	2.57
Peso	M <sub>car</sub>	kg	1290	1505
Coefficiente de arrastre	C <sub>x</sub>	-	0.34	0.33
Tipo de motor	-	-	MCI	Eléctrico
Fuente de energía	-	-	Gasolina	batería Li-ion
Cilindraje	-	cc	1.591	-
Rendimiento de combustible	R <sub>comb</sub>	km/l	9.8	-
Parámetro	Símbolo	Unidad SI	KIA Soul	KIA Soul EV
Emisiones de CO <sub>2</sub> NEDC	EC <sub>NEDC</sub>	g-CO <sub>2</sub> /km	140	-

Potencia del motor	$P_{ICE}$	$P_{EM}$	kW	121 @ 6300rpm	108 @ 2730rpm
Torque del motor	$\tau_{ICE}$	$\tau_{EM}$	Nm	151 @ 4850rpm	285
Potencia de batería		$P_{bat}$	kW	-	90
Capacidad de batería		$C_{bat}$	kWh	-	27
Volumen del tanque		$Vol_{Tanq}$	l	54	-
Transmisión	-	-		Mecánica/Automática x6	Automática x1
Aceleración de 0 a 100 km/h		$t_a$	s	11.0	11.2
Velocidad máxima		$Vel_{max}$	km/h	185	145
Pendiente máxima		$m$	%	-	33
Aire acondicionado		-	-	Si	Si
Autonomía de conducción	$AC_{VMCI}$	$AC_{VEB}$	km	-	200

Nota: valores referidos en conducción urbana y bajo datos del fabricante.

## Neumáticos

Desde la creación de los vehículos terrestres, un elemento fundamental de estos son los neumáticos porque han ido evolucionando a la par con el vehículo conforme éste destacaba en la historia del desarrollo de las distintas sociedades del mundo.

A simple vista se observa que en la actualidad los neumáticos son elementos hechos de caucho, color negro y de diferentes dimensiones según la necesidad, pero si se indaga un poco más sobre los neumáticos, se encuentra con la sorpresa de que no es un simple caucho. De acuerdo con Aparicio (1995), “*los elementos de la rueda neumática son: llanta, cubierta, cámara y aire a una cierta presión*” (p. 13).

Si se preguntan cuál de estos elementos que componen a la rueda neumática es la que genera la contaminación que busca este estudio, es simple, todo se centra en el elemento

‘‘cubierta’’, es la parte de caucho que se considera el único elemento contaminante, cuya composición en la fabricación contiene derivados del petróleo, y es así, cuando este producto está siendo utilizado genera la contaminación que los autores desean cuantificar.

Ahora bien, los ingredientes derivados del petróleo que se usan para crear la cubierta del neumático son detallados a continuación; pues en 1995, Aparicio definió que *‘‘en la fabricación se utilizan tres grupos de materiales: compuestos de goma, tejidos y alambres para talones’’* (pp. 19, 20, 22, 24).

De acuerdo con Aparicio (1995) *‘‘Los compuestos de goma: se trata de una mezcla de cauchos naturales y artificiales, combinados con otros agentes químicos, para lograr propiedades específicas. Sometidos a un proceso de vulcanización, que los transforma en otros altamente elásticos, que quedan unidos en la estructura del neumático formando un conjunto integrado’’* (p. 20). A continuación, se menciona a los polímeros más utilizados en la mezcla.

Caucho natural (NR)

Pol-isopreno (PI)

Estireno butadieno (SBR)

Polibutadieno (PBD)

Para uso especial:

Butilo

Cloro-butilo

Etileno-propileno dieno modificado (EPDM)

Y también otros de los productos utilizados son las sustancias llamadas: negro de humo, azufre, antioxidantes, acelerantes, anti-ozonantes, activadores, plastificantes, etc.

Good Year (2000, como se citó en Jorge Fernando Paz, 2015) afirma que los componentes utilizados para la fabricación del neumático están en las siguientes proporciones.

**Tabla 3**

*Materiales que componen un neumático, de acuerdo con Jácome (2015).*

Componentes	Porcentaje (%)
Caucho natural	14
Caucho sintético	27
Negro de humo	28
Acero	14
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	17

De acuerdo con KIA Motors (2016), en el manual del propietario para el vehículo convencional y el EV, se recomienda siempre utilizar neumáticos del mismo tamaño al de los originales, porque si se utilizan neumáticos de otro tamaño puede ocasionar daños en las piezas del sistema de rodaje. Los tamaños recomendados para los neumáticos del KIA Soul convencional son: 205/60 R16, 215/55 R17, 235/45 R18, con la opción para el neumático de repuesto de T125/8 D16. Y el tamaño recomendado para los neumáticos del KIA Soul EV es: 205/60 R16.

### **Lubricantes**

Toda sustancia que sirva para minorizar la fricción entre dos o más elementos se los denomina lubricantes, la función principal de los aceites lubricantes es evitar el desgaste y calentamiento de superficies que se encuentran en contacto, también se aplican para evitar la corrosión y oxidación en piezas metálicas.

Los lubricantes pueden existir de las siguientes formas, estos pueden ser líquidos, sólidos y semisólidos. Pero estos se pueden clasificar de según su naturaleza, si bien, existen lubricantes

que son resultado de la refinación del petróleo y a estos se los conoce como lubricantes minerales. Luego tenemos a los lubricantes sintéticos que no son de procedencia mineral y que sorprendentemente cuentan con una mejor termorresistencia y anti-desgaste. Y por último se tiene a los semisintéticos que son una mezcla entre los minerales y sintéticos, este presenta una diferencia en sus propiedades ya que forman una nueva propiedad diferente a las que tienen por separado.

En el ámbito automotriz contamos con al Instituto Americano del Petróleo (API), es la organización a nivel mundial que estandariza los aceites lubricantes según su función, uso y necesidades, porque tienen más de un nivel de rendimiento. Esta organización en la actualidad tiene clasificado a los lubricantes para motores de gasolina como SN, para los motores diésel su asignación es la CK-4. De igual manera esta organización también clasifica los lubricantes para las cajas de cambios o transmisiones, para transmisiones manuales de engranajes hipoides sometidos a esfuerzos medianos se los identifica como GL-4, y la siguiente asignación GL-5 es una versión que contiene 50% más de azufre y fósforo que no es compatible para vehículos que requieren de la clase GL-4, porque la propiedad de este aceite ocasiona que el sincronizador de la caja de cambio patine, se caliente y esto degrada el aceite, quemando la película de aceite y por ende no sincroniza de manera óptima (API, 2022).

ATF son las siglas en inglés para Fluidos de Transmisiones Automáticas, la cual determina la letra "S" para motores a gasolina, seguida de otra letra que determina el año del motor, a su vez, clasifica por grupos los aceites dados la tecnología que contiene, siendo así el "Grupo IV" un aceite de base sintética con baja fluidez, alta viscosidad, buena estabilidad térmica y excelente resistencia a la oxidación (API, 2022).

Los fabricantes europeos también cuentan con su propia identidad que clasifica los aceites por su calidad; Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) es la organización que clasificó como A y B a los aceites para vehículos ligeros a gasolina y diésel sin filtro de partículas, categorizando del 1 al 5 indicando que el motor cuenta con sistema de inyección directa e indirecta, es decir, ACEA A5 es la designación para vehículo ligero a gasolina con inyección directa (ACEA: Driving Mobility Europe, 2022).

De acuerdo con (KIA Motors, 2016), en el manual del propietario se presenta un cuadro que recomienda utilizar los siguientes lubricantes:

**Tabla 4**

*Lubricantes recomendados y cantidades para el vehículo a combustión, de acuerdo con KIA Motors (2016).*

Elemento		Volumen		Clasificación de lubricante
Aceite de motor	Motor a gasolina	1.6 L	3.6 l	ACEA A5 o superior
		2.0 L	4.0 l	
Aceite de caja manual	Para motor a gasolina	1.6 L	1.8 l – 1.9 l	API GL-4 SAE 70W
		2.0 L	1.7 l – 1.8 l	
Aceite de caja automática	Para motores a gasolina	1.6 L	7.3 l	ATF SP-IV o equivalente
		2.0 L	7.1 l	

**Tabla 5**

*Lubricantes recomendados y cantidades para el vehículo eléctrico, de acuerdo con KIA Motors (2016).*

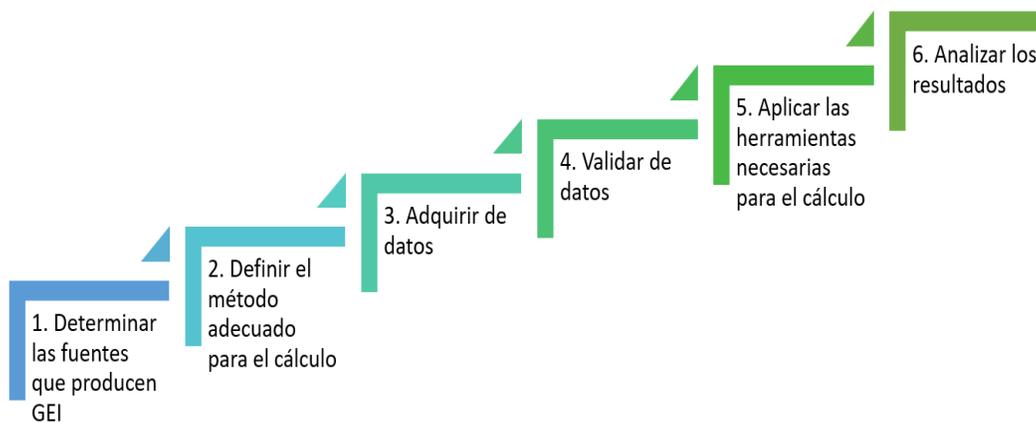
Elemento	Volumen	Clasificación de lubricante
Aceite del engranaje reductor	$1.3 \pm 0.1 \text{ l}$	75W-85, GL-4

### **Metodología**

La metodología que se aplica en el presente estudio analiza desde un punto de vista documental y teórico los niveles de CO<sub>2</sub> de un vehículo eléctrico, por medio de actividades aplicadas de forma secuencial que ayudaran a determinar cuantitativamente la huella de carbono del vehículo. A continuación, la Figura 3 muestra que el primer paso consta en determinar las fuentes productoras de GEI tanto de los neumáticos, aceites y producción eléctrica, con esta información es posible definir el método de cálculo más adecuado para este caso de estudio. Lo siguiente es adquirir datos a partir de la literatura de estudios ya realizados y de ser necesario realizar pruebas o ensayos que permitan obtener los datos suficientes para seguir a una fase de validación. En este punto se contará con los datos que son indispensables para la estimación de la huella de carbono, una vez obtenidos los resultados se los analizara para poder establecer propuestas que minimicen las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **Figura 3**

*Metodología para el cálculo de la huella de carbono.*



*Nota.* Realizado por los autores.

## Capítulo 2

### Determinación de la huella de carbono

Este capítulo presenta el desarrollo y aplicación de las metodologías para la estimación de la huella de carbono de un vehículo eléctrico para poder realizar una comparativa con el grado de emisiones de un vehículo de similares características, pero a combustión interna. El análisis se lo

realiza desde tres enfoques distintos en lo que comprende la etapa de utilización del vehículo, el primer enfoque se lo da a la determinación de la huella de carbono desde la matriz energética del Ecuador, el segundo a partir de los neumáticos utilizados y de igual forma el tercer enfoque lo tienen los aceites lubricantes usados para el funcionamiento del vehículo.

### **Huella De Carbono Según La Matriz Energética Del Ecuador**

A pesar de que el presente estudio se enfoca en la determinación de la huella de carbono en la etapa de consumo de un producto, para el caso de la matriz energética resulta conveniente la aplicación del análisis WTW (pozo a la rueda). Para este análisis se consideran las emisiones de CO<sub>2</sub> desde la fuente de producción hasta el momento de su consumo en el vehículo (Ozdemir, 2020). Este tipo de análisis consta de dos partes, la primera WTT (pozo al tanque) analiza y determina la cantidad de CO<sub>2</sub> que se produce en los procesos que comprende la extracción, generación, transporte y distribución de los combustibles y energía. La segunda parte se denomina TTW (tanque a la rueda) y se encarga de estimar la producción de GEI durante el periodo de vida útil del vehículo.

Como ya se mencionó anteriormente los vehículos base para este estudio son el KIA Soul a combustión interna y el KIA Soul EV que es un modelo eléctrico, ambos se comercializan en el Ecuador. La vida útil de estos vehículos se estima en 10 años, tiempo en el que aproximadamente recorrerán 200000 km.

Entonces, como punto de partida para el análisis resulta necesario especificar la autonomía de los vehículos. La Tabla 2 muestra los datos técnicos que permitirán realizar este cálculo, teniendo que para el caso del vehículo a combustión interna donde el rendimiento del combustible es de 9.8 km/l y el volumen de su depósito de combustible es de 54 l su autonomía se obtiene de multiplicar estos dos datos resultando en 529.2 km.

Dentro de los datos técnicos del vehículo eléctrico se conoce que la capacidad de almacenamiento de energía de las baterías es de 27 kWh, mientras que la autonomía de una sola carga de batería es de 200 km, por lo tanto, al dividir la autonomía para la capacidad se tiene que dicho vehículo recorre 7.41 km/kWh.

Lo siguiente es determinar mediante las ecuaciones (2) y (3) las cantidades mínimas tanto de combustible y energía para el VMCI y el VEB respectivamente, considerando la vida útil de 200000 km que se estableció para este estudio.

$$Total\_Vol_{comb} = \frac{200000 \text{ km}}{Rendimiento_{comb}} = \frac{200000 \text{ km}}{9.8 \text{ km/l}} = 20408.16 \text{ l} \quad (2)$$

$$Total\_C_{bat} = \frac{200000 \text{ km}}{Rendimiento_{bat}} = \frac{200000 \text{ km}}{7.4 \text{ km/kWh}} = 26990.55 \text{ kWh} \quad (3)$$

### ***Análisis Del Pozo Al Tanque (WTT) Para El Vehículo Eléctrico***

Conocer la emisión de CO<sub>2</sub> que se genera en la fase de producción energética es primordial para el análisis, este dato depende del valor obtenido en la Ecuación 3 que representa la cantidad total mínima de energía requerida por el vehículo, depende también de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por cada fuente de generación eléctrica y del coeficiente de aporte de generación eléctrica de cada fuente. Los coeficientes de aporte de generación eléctrica ya fueron especificados en la Tabla 1, mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por cada fuente de generación eléctrica se detallan a continuación junto con el origen de donde se extrajo la información.

**Tabla 6**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> por cada kilo-watio-hora producido según la fuente de generación eléctrica.*

Tipo de fuente de generación eléctrica	Emisión de CO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> /kWh)	Origen de la información
Hidroeléctrica	0.024	(Briones & Uche, 2017)
Fotovoltaica	0.040	(NREL-U.S., 2012)
Eólica	0.012	(Bhandari et al., 2020)

Termoeléctrica	0.49	(Parra, 2015)
Totales	0.566	

Al contar con los datos necesarios se procede a cuantificar la emisión de CO<sub>2</sub> proporcional de cada fuente de generación eléctrica en base a lo requiere el vehículo eléctrico para recorrer los 200000 km que comprenden su vida útil.

### Tabla 7

*Emisiones de CO<sub>2</sub> proporcionales generadas por la producción energética del Ecuador para satisfacer la demanda de un vehículo eléctrico durante 200000 km de su vida útil.*

Tipo de fuente de generación eléctrica	Coefficiente de generación eléctrica (%)	Energía requerida (kWh)	Emisiones proporcionales (kg-CO <sub>2</sub> )
Hydroeléctrica	0.6258	16890.43	405.37
Fotovoltaica	0.0033	89.68	3.59
Eólica	0.0026	70.93	0.85
Termoeléctrica	0.3683	9939.52	4870.36
Totales	1.0000	26990.55	5280.17

Dentro del análisis cabe mencionar también que las baterías que son utilizadas en el vehículo eléctrico tienen un estimado de vida útil de 8 años, por lo que se necesitara al menos un cambio de baterías considerando que la vida útil del vehículo es de 10 años. Entonces, la emisión de CO<sub>2</sub> debido a la fabricación y reemplazo de las baterías se obtiene al multiplicar la capacidad del banco de baterías (Tabla 2) por la estimación de emisiones realizadas durante la fabricación de baterías de iones de litio por cada kilo-watio-hora de capacidad, cuyo valor es 110 kg-CO<sub>2</sub>/kWh (Hall & Lutsey, 2018), teniendo así que se producen 5940 kg-CO<sub>2</sub> debido a la fabricación y reemplazo del banco de baterías.

### ***Análisis Del Tanque A La Rueda (TTW) Para El Vehículo Eléctrico***

Este tipo de vehículos son considerados ecológicos debido a que durante su conducción no producen GEI que puedan ser cuantificados para este análisis.

### ***Análisis Del Pozo Al Tanque (WTT) Para El Vehículo A Combustión Interna***

Para el vehículo a combustión interna este análisis considera las emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción y distribución del combustible. En base al estudio realizado por Hernández, Fernández, Mora y Alvarado (2022) se determina que la producción de CO<sub>2</sub> durante el recorrido del combustible es de 7432.17 kg-CO<sub>2</sub> para el KIA Soul a combustión interna durante su vida útil.

### ***Análisis Del Tanque A La Rueda (TTW) Para El Vehículo A Combustión Interna***

Según el estudio realizado por Hernández, Fernández, Mora y Alvarado (2022) las emisiones son de 37800 kg-CO<sub>2</sub>/km para el KIA Soul a combustión interna considerando el kilometraje que recorre durante su vida útil.

La Tabla 8 muestra de forma tabulada las emisiones de CO<sub>2</sub> del cálculo de la huella de carbono del KIA Soul y el KIA Soul EV para una vida útil de 200000 km según la matriz energética ecuatoriana.

**Tabla 8**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> del KIA Soul y el KIA Soul EV con respecto a la matriz energética del Ecuador.*

Tipo de análisis	Actividad	KIA Soul (kg-CO <sub>2</sub> )	KIA Soul EV (kg-CO <sub>2</sub> )
WTT	Recorrido del combustible	7432.17	0
	Reemplazo de baterías	0	5940
	Recarga de baterías	0	5280.17
TTW	Durante la vida útil	37800	0

Totales	45232.17	11220.17
---------	----------	----------

## **Huella De Carbono De Los Neumáticos**

### ***Desgaste En Los Neumáticos***

La producción de CO<sub>2</sub> dentro del ciclo de vida de los neumáticos se produce en las tres etapas que lo comprenden, en la fabricación, utilización y reciclaje. Sin embargo, en donde la huella de carbono presenta elevados niveles de emisiones es durante la utilización, cuando se encuentra circulando en las vías. Según el portal web de Good Year (2021) más del 90% de la huella de carbono de un neumático se genera durante la vida útil del mismo, esto debido a la resistencia a la rodadura que existe entre el neumático y la superficie en la que se encuentra.

La vida útil de un neumático va a depender del estilo de conducción que se tenga y de factores ambientales, así como también del tipo de vehículo en el que se instale el neumático, puesto que no será lo mismo instalar un determinado tipo de neumático en un vehículo eléctrico a instalarlo en un vehículo a combustión.

De forma general se tiene que los neumáticos que se instalan en vehículos eléctricos se desgastan más rápido, puesto que estos vehículos presentan cuatro factores claves para que sus neumáticos tengan un desgaste prematuro. El primer factor para tomar en cuenta es el peso del vehículo. Como ya se especificó en la Tabla 2, la diferencia de peso entre los dos vehículos que se están analizando es considerable, ya que el KIA Soul EV es 215 kg más pesado que su versión a combustión interna. El segundo factor es el elevado torque que generan los motores eléctricos, el mismo que se transmite directamente a las ruedas provocando que lleguen a patinar, tal como se muestra en la Tabla 2 el torque del KIA Soul EV es superior en 134 nm. Como tercer factor se considera a la distancia de frenado que para los vehículos eléctricos es mayor a causa de su elevado

peso y mayor inercia. Y el cuarto factor de desgaste de neumáticos en vehículos en eléctricos viene dado por el sistema de recuperación de energía durante la desaceleración.

### ***Proporción De Masa Del Neumático***

Al analizar los neumáticos se pone especial énfasis en su peso o masa, puesto que factores como la resistencia a la rodadura y el consumo de combustible o energía son codependientes del peso que tenga el neumático, es decir, mientras menor peso tenga el neumático la resistencia a la rodadura será baja al igual que el consumo. Lo mismo pasa con la contaminación ambiental ya que un neumático con menor masa contaminará menos.

Como se mencionó en el capítulo anterior el neumático recomendado por el fabricante para el KIA Soul convencional y eléctrico es de tamaño 205/60 R16. Para un neumático de estas dimensiones su peso es de aproximadamente 20 libras o lo que es igual a 9.07185 kilogramos, entonces, del 100% de su peso podemos determinar el peso de cada uno de sus componentes haciendo uso de los datos que proporciona la Tabla 3, obteniendo así los valores que se presentan a continuación.

### **Tabla 9**

*Proporción de peso de los componentes de un neumático 205/60 R16.*

Componentes	Proporción de peso (kg)
Caucho natural	1.27
Caucho sintético	2.45
Negro de humo	2.54
Acero	1.27
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	1.54

### ***Emisión de CO<sub>2</sub> En La Producción De Un Neumático***

Para la estimación de la huella de carbono el análisis se lo hace con relación a la emisión de CO<sub>2</sub> durante la producción de caucho natural, caucho sintético, negro de humo y la aleación de acero, puesto que estos materiales tienen mayor presencia dentro de la composición del neumático. Bajo este contexto, se parte del estudio que realiza López (2014) sobre la huella de carbono del conjunto rueda donde se analiza la emisión de CO<sub>2</sub> a partir de la energía consumida por unidad de material producido. Entonces, resulta necesario conocer que para la producción de cada kilo-watio-hora se generan 0.248 kg-CO<sub>2</sub>.

La Tabla 10 muestra los valores de emisión de CO<sub>2</sub> para los cuatro materiales del neumático que se están analizando, partiendo del consumo energético para la obtención de estos.

**Tabla 10**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción de materias primas de un neumático.*

Componentes	Peso (kg)	Energía consumida por unidad de material producido (kWh/kg)	Energía total consumida (kWh)	Emisión por unidad de energía consumida (kg-CO <sub>2</sub> /kWh)	Emisión de CO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> )
Caucho natural	1.27	4.31	5.47	0.248	1.36
Caucho sintético	2.45	15.50	37.97	0.248	9.42
Negro de humo	2.54	35.14	89.25	0.248	22.14
Acero	1.27	7.72	9.80	0.248	2.43

---

Total	35.34
-------	-------

---

Por lo tanto, la huella de carbono de un juego de neumáticos utilizado en un KIA Soul es de 141.28 kg-CO<sub>2</sub>, sin embargo, si se analiza desde la perspectiva de la vida útil del vehículo este valor varía en función de la versión del vehículo en el que se instale, tal como se explicó anteriormente para el caso de las versiones eléctricas el tiempo de vida útil de los neumáticos es menor lo que resulta en un mayor número de recambios de neumáticos.

Teniendo que para vehículos a combustión el recambio del neumático se lo hace entre los 5 a 10 años desde su fabricación mientras que para un vehículo eléctrico la media de duración de un neumático es de 5 años desde su fabricación. Entonces si la vida útil del KIA Soul EV es de 10 años la huella de carbono de sus neumáticos se duplica llegando a 282.56 kg-CO<sub>2</sub>.

### **Huella De Carbono De Los Aceites Lubricantes**

Según (Ishizaki & Nakano, 2018) y su estudio publicado por la revista digital MDPI (Instituto Multidisciplinario de Publicación Digital) el mismo año, revela los resultados de su investigación; la cual consistió en analizar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a la producción de aceites de ultra baja viscosidad para motores en vehículos de pasajeros. En esto se estimó tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> del aceite de ultra baja viscosidad y la aumento en los intervalos del cambio de aceite del motor, ya sea para aceites minerales y sintéticos.

La rentabilidad del aceite de ultra baja viscosidad se determinó mediante el análisis de los resultados obtenidos a una prueba realizada. Dicha prueba es el método Noack para determinar la volatilidad del aceite y denominada ASTM D5800, estandarizada así por la Sociedad Americanada para Prueba de Materiales.

La prueba de volatilidad Noack consiste en tomar una muestra de aceite, se registra su peso, luego se procede a calentar esta muestra a 482 °F (250 °C) por exactamente una hora. Mientras

transcurre ese tiempo se introduce aire seco para arrastrar el vapor del aceite hasta un vaso de precipitación o probeta. Lo siguiente es medir la muestra original para determinar su peso, esa reducción de peso se establece como porcentaje de pérdida. Las normativas clasifican ese rendimiento como: API SN e ILSAC GF-5, las cuales establecen que el peso perdido por la evaporación no sea superior al 15% de los grados de viscosidad del aceite (ASM Oil, 2022).

De acuerdo con ASM Oil (2022), la baja viscosidad reduce el consumo de aceite del motor y reduce la cantidad de vapor de aceite del cárter que se introduce en la admisión a través del vacío del motor desde el sistema PCV (Ventilación Positiva del Carter).

Volviendo con (Ishizaki & Nakano, 2018), en el experimento se utilizó un viscosímetro capilar KV100 para medir los resultados de la evaporación de sus aceites, y en los resultados indicaron un límite inferior de viscosidad cinética a 100 °C, cabe recalcar que se compara los lubricantes con aceites de base mineral de ultra baja viscosidad (ULV-Mineral), aceite sintético de base polialfaolefina de ultra baja viscosidad (ULV-PAO), versus, el SAE 0W-16.

Según el criterio de (Ishizaki & Nakano, 2018), establece los intervalos de cambio de aceite (ODI, siglas en ingles), determinado por el fabricante de los vehículos japoneses considerados para este estudio, para el ULV-Mineral se recomienda el cambio a los 7500 km, para el ULV-PAO se recomienda de 7500, 15000 y 25000 km, y, para el SAE 0W-16 se recomienda según el fabricante 7500 km. Para efecto del análisis se presenta la Tabla 11 con las especificaciones de los aceites y la Tabla 12 con los resultados obtenidos.

### **Tabla 11**

*Especificaciones de los lubricantes asumidos para el análisis.* (Ishizaki & Nakano, 2018)

Propiedades	0W-16	ULV-Mineral	ULV-PAO
Fluido acabado KV100	6.2 mm <sup>2</sup> /s	5.3 mm <sup>2</sup> /s	4.5 mm <sup>2</sup> /s

Material base KV100	(n/a) G-III	4.3 mm <sup>2</sup> /s G-III	3.6 mm <sup>2</sup> /s PAO
Paquete agregado	n/a	80 mm <sup>2</sup> /s	80 mm <sup>2</sup> /s
Volatilidad Noack	n/a	15% W	15% W
Base mineral	Si	89.0% W	-
Base sintética	No	-	89.0% W
Paquete agregado	n/a	11.0% W	11.0% W
Detergentes (Det)	n/a	2.0% W	2.0% W
Dispersante (Dis)	n/a	6.0% W	6.0% W
Antioxidante (AO)	n/a	1.0% W	1.0% W
Antidesgaste (AW)	n/a	2.0% W	2.0% W
Cantidad de aceite	4.0 L	4.0 L	4.0 L
Densidad	n/a	0.84 kg/L	0.84 kg/L
ODI	7500 km	7500 km	7500 km, 15000 km y 25000 km

**Tabla 12**

*Resultados del estudio de emisiones de producción del lubricante y emisión durante la operación del vehículo obtenido de (Ishizaki & Nakano, 2018)*

Lubricante	CO <sub>2</sub> [kg-CO <sub>2</sub> /L]	Emisión durante la	
		operación del vehículo [%]	ODI
ULV-Mineral	0.99	+ 0.8	7500 km
		+ 1.3	7500 km
ULV-PAO	1.65	- 0.4	15000 km
		- 0.7	25000 km

De acuerdo con (Ishizaki & Nakano, 2018), en su estudio revela que tanto en aceite de motor 0W-16 como el ULV-Mineral utilizan aceite base del grupo III y las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción son prácticamente las mismas, siendo así, el ULV-Mineral el que redujo las

emisiones en el vehículo en un 0.6%. Por otra parte, comparando el ULV-Mineral versus el ULV-PAO, las emisiones en la producción de los ULV-PAO son 0.1% menores que la del ULV-Mineral.

Cabe recalcar que los sujetos de prueba son vehículos convencionales con motores 1.5 L y 1.8 L, también se utiliza el modo de conducción NEDC (Nuevo Ciclo de Conducción Europeo), para el cual se considera una eficiencia de combustible del vehículo de 66.5 g-CO<sub>2</sub>/km.

Se estima que para el año 2030 la extensión de los intervalos del cambio de aceite de 7500 km, 15000 km, y 25000 km reducirán las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ULV-PAO mejorando de 0.4% y 0.7% a 0.7% y 0.9% respectivamente.

### **Capítulo 3**

#### **Análisis de resultados**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes son una referencia a la contaminación producida no por el vehículo, pero si por el fabricante del producto. Entonces, la cantidad de energía eléctrica, neumáticos y lubricante utilizados en el vehículo se relaciona con la cantidad de emisiones que generó al producir dicho producto.

#### **Contaminación producida por el consumo energético del KIA Soul**

Los vehículos eléctricos se ofertan como una alternativa ecológica y amigable con el medio ambiente, sin embargo, la realidad que muchas veces se omite al momento de promocionar estos vehículos es de que son productores indirectos de CO<sub>2</sub>, tal como lo refleja el presenta estudio.

Factores como el rendimiento y la autonomía resultan indispensables para el análisis comparativo de emisiones entre el vehículo eléctrico y el de combustión, puesto que dichos factores determinan el consumo total de energía y combustible respectivamente durante toda la vida útil de los vehículos. En este contexto se determinó que en el vehículo eléctrico cada unidad

de energía tiene un rendimiento inferior a comparación del rendimiento por unidad de combustible en el vehículo a combustión, esto se ve reflejado en el Figura 3. Entonces, lo mismo pasa con la autonomía, donde se determinó que el vehículo a combustión es superior en un 62.2%, tal como lo muestra la Figura 4.

### Figura 3

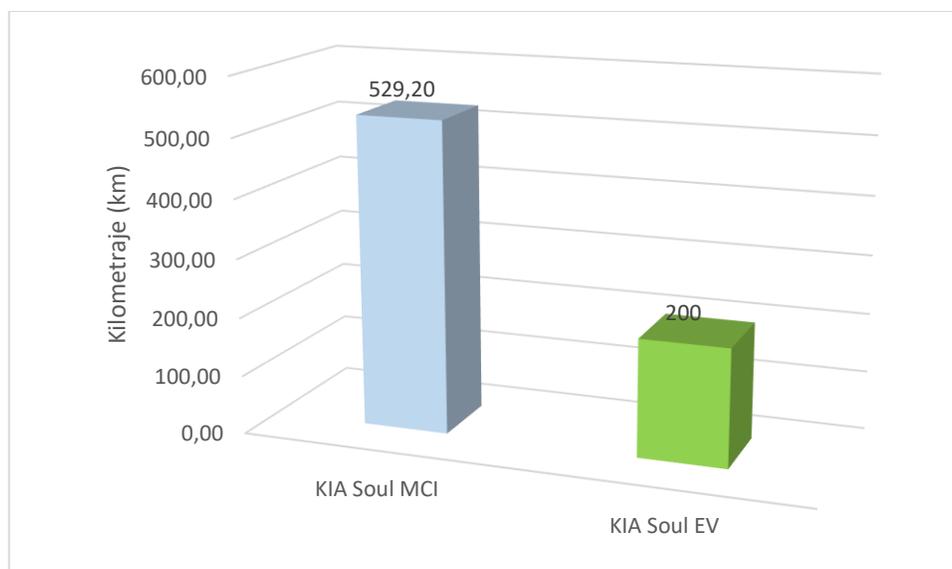
*Comparativa de rendimiento entre KIA Soul a combustión y KIA Soul eléctrico.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### Figura 4

*Comparativa de autonomía entre KIA Soul a combustión y KIA Soul eléctrico.*



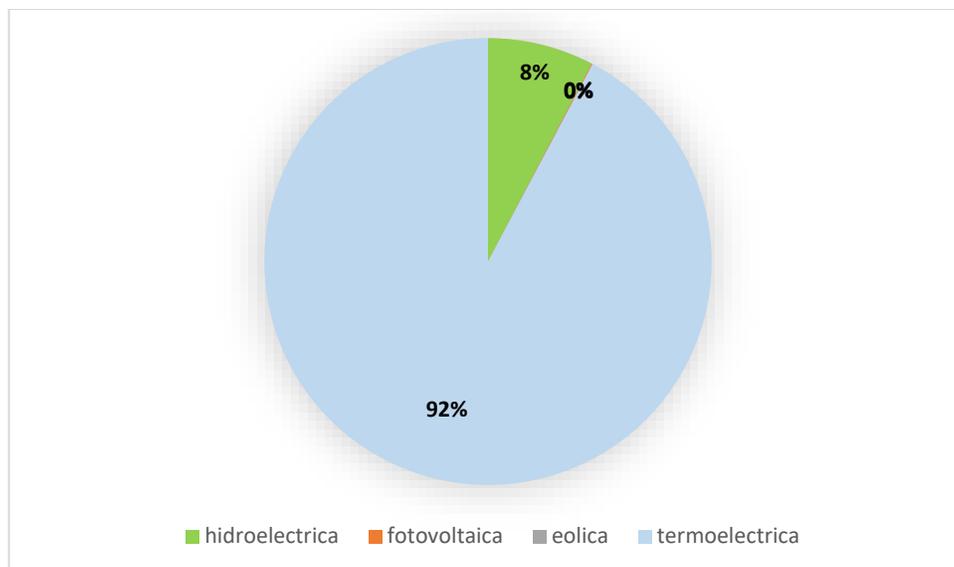
*Nota.* Realizado por los autores.

Conociendo que 26990.55 kWh es el total de energía necesaria para que el vehículo eléctrico alcance los 200000 km durante su vida útil, se obtuvo el índice de emisiones de cada fuente eléctrica para cubrir esta demanda, el cual depende del coeficiente de generación (Tabla 1) y de las misiones de CO<sub>2</sub> por cada kilo-watio-hora producido según la fuente de generación eléctrica (Tabla 6).

A pesar de que el coeficiente de generación de las fuentes termoeléctricas no es el más alto, en la Figura 5 se observa que este tipo de fuente genera el 92% de emisiones durante la producción eléctrica para cubrir la demanda del vehículo eléctrico. Todo lo contrario, sucede con las fuentes hidroeléctricas que tienen un coeficiente de generación elevado, sin embargo, su índice de emisiones es de tan solo el 8%. En cuanto a las emisiones que generan las fuentes fotovoltaicas y eólicas son casi despreciables, esto debido a que el país aún no cuenta con la infraestructura necesaria para que dichas fuentes representen un mayor índice de emisiones.

### **Figura 5**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> de fuentes eléctricas para cubrir la demanda del KIA Soul EV.*



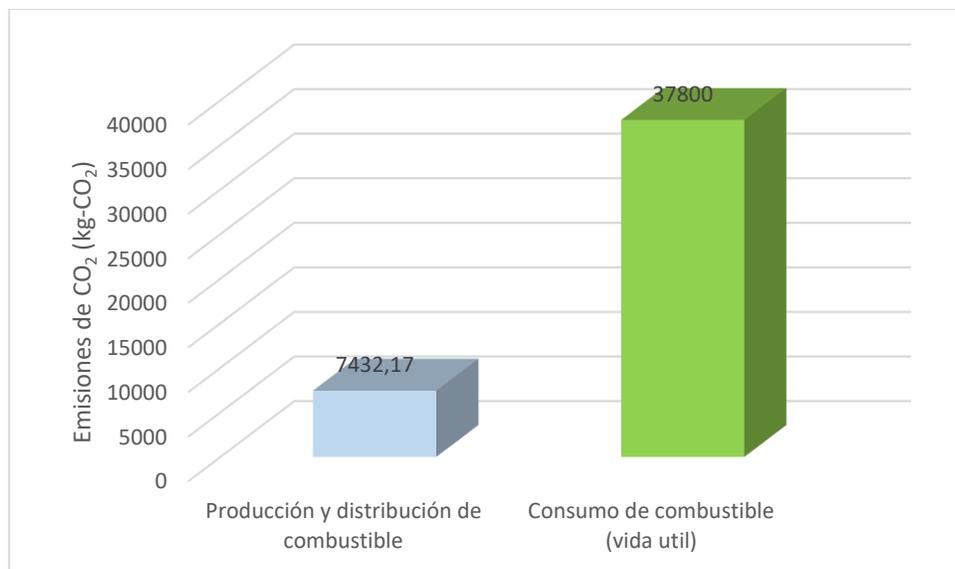
*Nota.* Realizado por los autores.

Al aplicar el análisis WTW (pozo a la rueda) se logró obtener de manera detallada los índices de emisiones de CO<sub>2</sub> para el KIA Soul a combustión y para el KIA Soul eléctrico.

Es así como se determina que el 83.56% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera el vehículo a combustión se producen durante su vida útil, es decir, durante su funcionamiento al consumir combustible, mientras que el 16.43% restante se produce durante la producción y distribución del combustible (Figura 6). En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera el vehículo eléctrico se determina que el 52.94% se debe a la fabricación y reemplazo del banco de baterías, por lo que el 47.05% sobrante se debe a la producción eléctrica (Figura 7).

### **Figura 6**

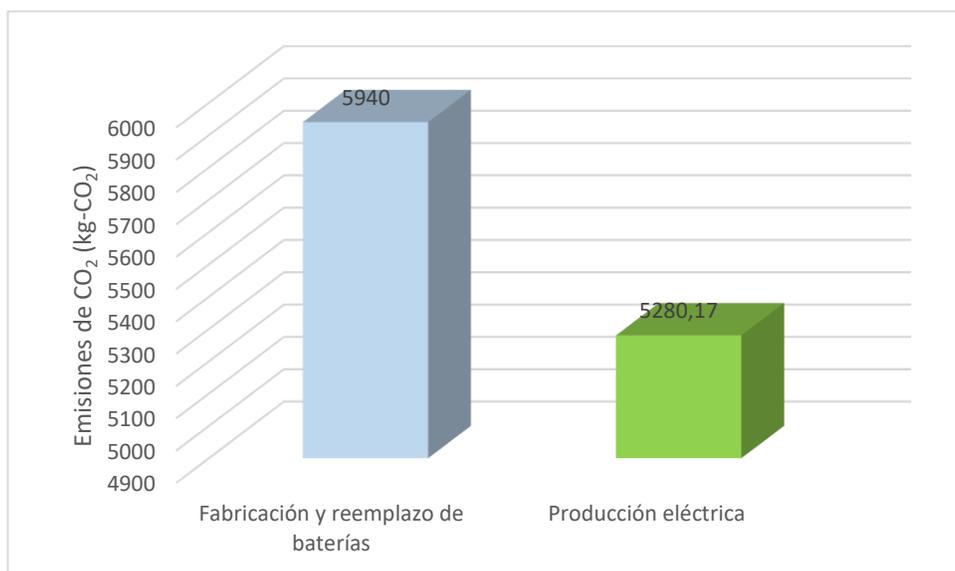
*Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el KIA Soul a combustión bajo el análisis WTW.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### Figura 7

*Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el KIA Soul eléctrico bajo el análisis WTW.*

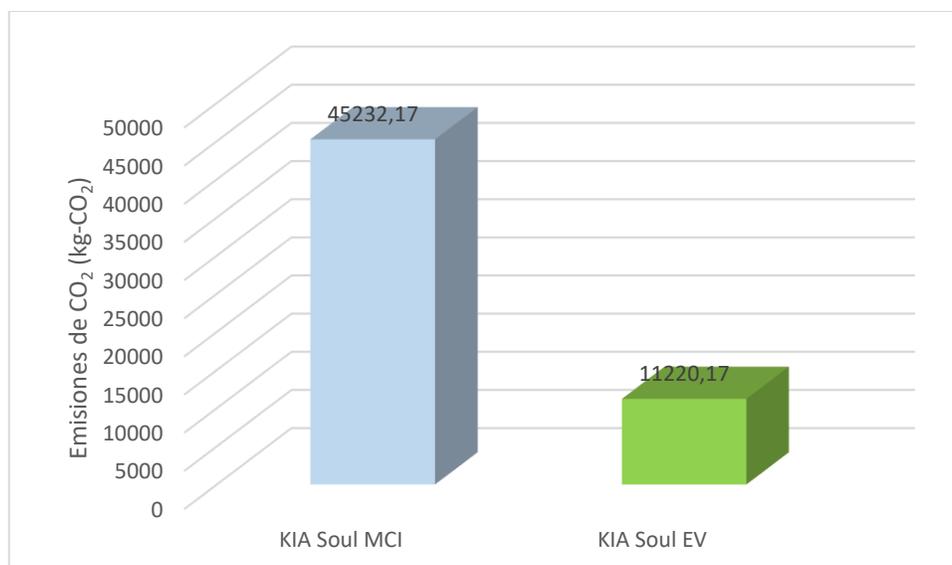


*Nota.* Realizado por los autores.

Como último punto dentro de este apartado queda realizar la comparativa final del índice total de emisiones generado tanto por el KIA Soul a combustión y por el KIA Soul EV, donde la versión del vehículo a que es a combustión produce un 75.18% más de CO<sub>2</sub> en comparación de la versión eléctrica.

### **Figura 8**

*Comparación de emisiones de CO<sub>2</sub> entre el KIA Soul a combustión y KIA Soul eléctrico con respecto a la matriz energética del Ecuador.*



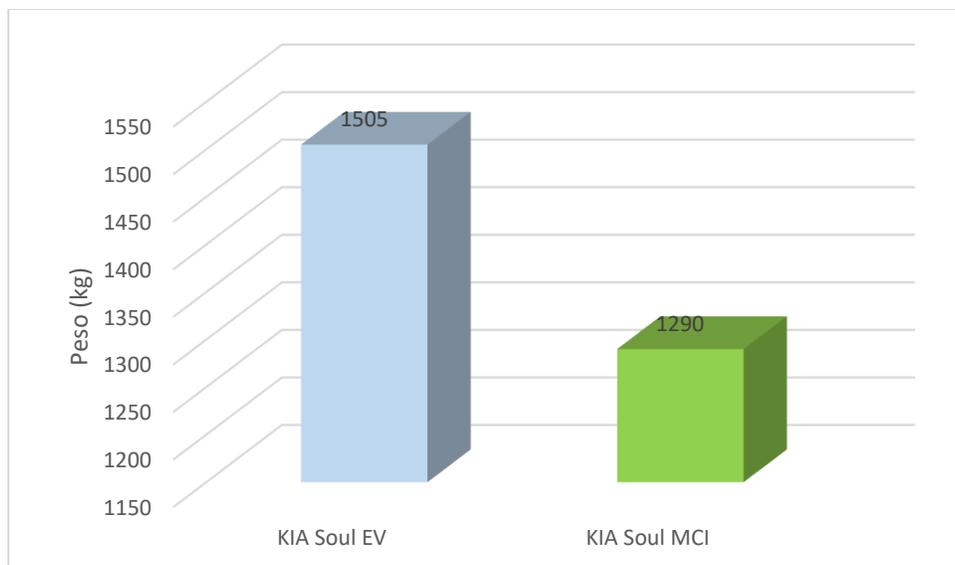
*Nota.* Realizado por los autores.

### **Emisiones contaminantes de neumáticos utilizados en el KIA Soul**

En el capítulo anterior se mencionó que entre los factores que influyen en el desgaste de los neumáticos en un vehículo eléctrico se encontraban el peso y el torque, siendo así que la diferencia de peso es del 16.67%, mientras que la diferencia de torque llega al 88.74%, en ambos casos el KIA Soul eléctrico es el que presenta mayores porcentajes, tal como se puede observar en las Figuras 9 y 10.

### **Figura 9**

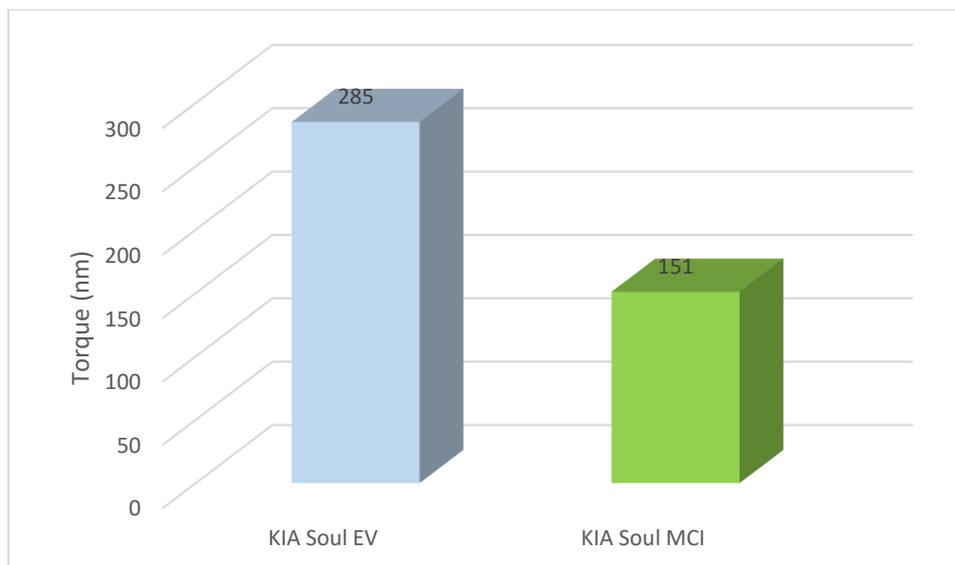
*Comparación de peso entre el KIA Soul a combustión y KIA Soul eléctrico.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### **Figura 10**

*Comparación de torque entre el KIA Soul a combustión y KIA Soul eléctrico.*



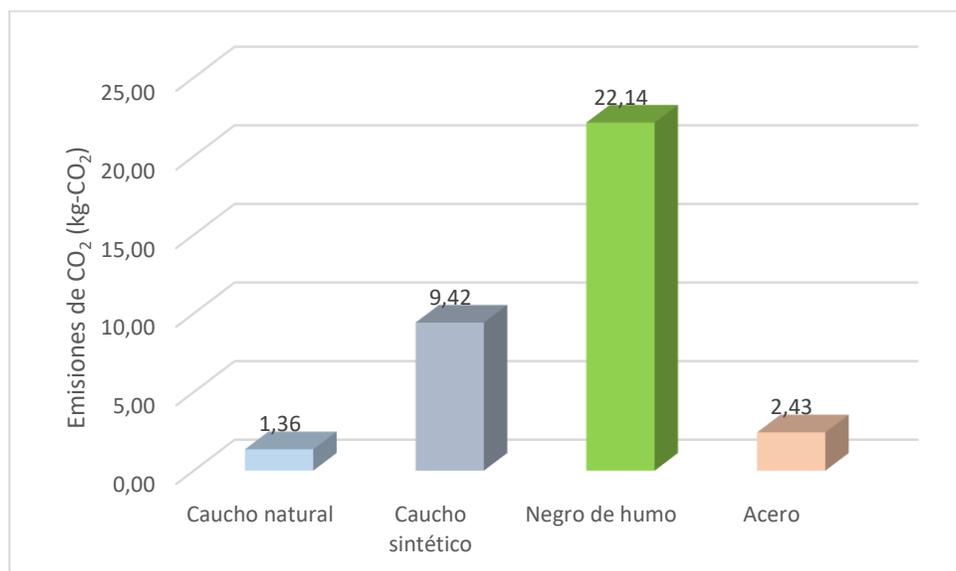
*Nota.* Realizado por los autores.

Factores como la proporción de materiales que componen un neumático (Tabla 3), la energía consumida por unidad de material producido (Tabla 10) y las emisiones por unidad de energía producida, son los que permiten determinar la cantidad emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan

durante la fabricación de un neumático, por lo tanto, en la Figura 11 se muestra que dentro de la constitución del neumático el material que más CO<sub>2</sub> genera es el negro de humo puesto que aporta cualidades al caucho que por sí solo no posee (resistencia a la abrasión, resistencia a la tensión, disipación de calor, etc.).

### Figura 11

*Emisiones de CO<sub>2</sub> en la obtención de las materias primas que componen un neumático.*

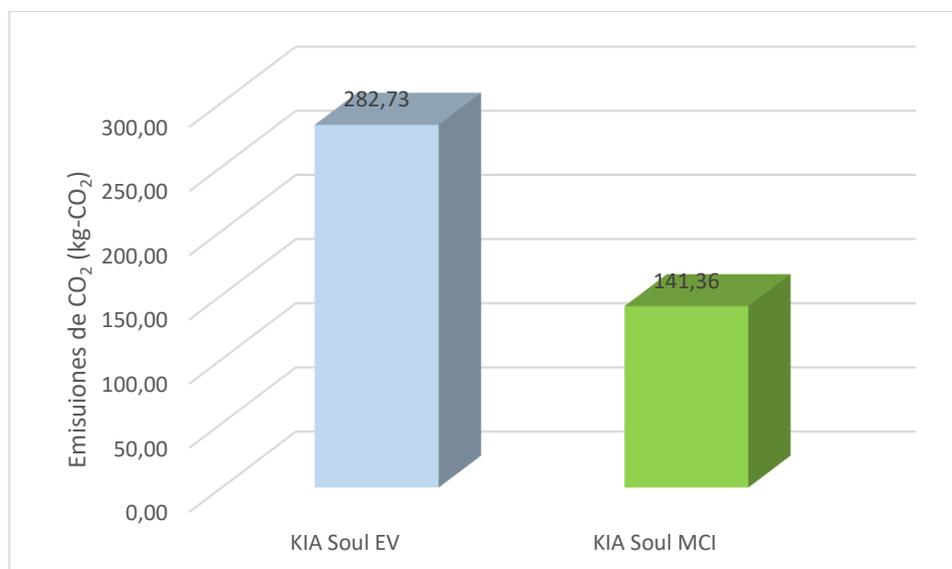


*Nota.* Realizado por los autores.

La cifra total de emisiones de CO<sub>2</sub> que generan los neumáticos de un KIA Soul eléctrico a lo largo de su vida útil es un 50% mayor en comparación de la versión a combustión interna, esto en consecuencia de los diversos factores ya antes mencionados que contribuyen a un desgaste prematuro.

### Figura 12

*Comparativa de emisiones de CO<sub>2</sub> entre el KIA Soul a combustión y KIA Soul eléctrico con respecto al uso de neumáticos.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### **Uso de lubricante sintético en los dos vehículos a experimentar**

Elementos del vehículo convencional como el motor y caja de cambios automática, más la caja de engranajes reductores del vehículo eléctrico, fueron los protagonistas de este análisis correspondiente a los lubricantes.

Siendo el motor a combustión el elemento que más contaminación indirecta genera, debido a los 3.6 litros de lubricante que requiere para su funcionamiento y los intervalos de cambio de aceite a 7500 km. Por otra parte, la caja de cambios automática ocupa el segundo lugar de este estudio, con un intervalo de cambio de aceite cada 90000 km, esto debería reflejar un menor consumo de lubricante, pero su punto en contra es el volumen de 7.3 litros que requiere para su funcionamiento.

Finalmente el vehículo eléctrico con su caja de engranajes reductores es el elemento con menor consumo dentro de este análisis. Los intervalos de cambio de aceite cada 60000 km representan durabilidad y menor consumo de lubricante, la cantidad de 1.3 litros que requiere para trabajar adecuadamente es sumamente inferior a lo utilizado en la caja de cambios automática, esto

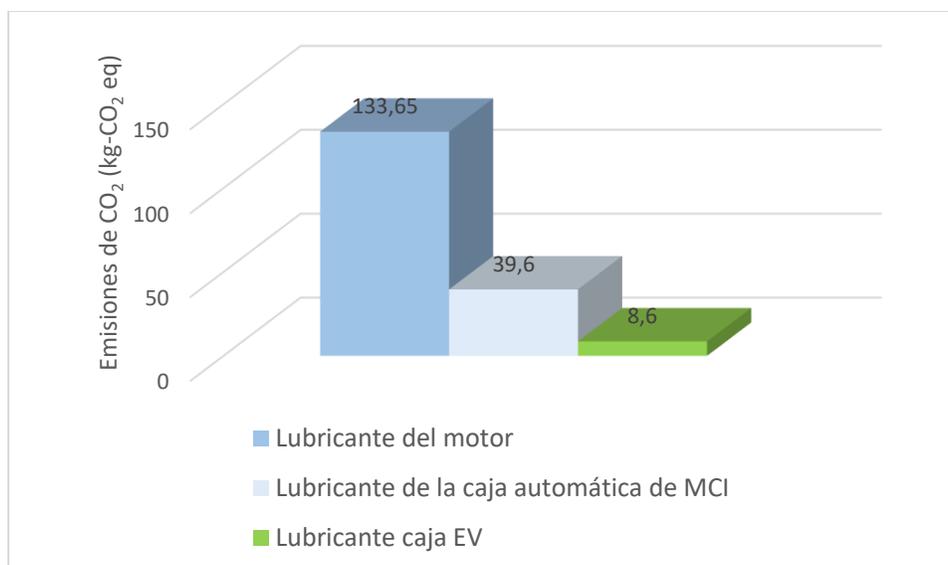
lo convierte en el mecanismo con mayor rentabilidad y más amigable con el ambiente. Sin embargo, al ampliar el análisis se encuentra que cuenta con un punto en contra, ya que, si bien los vehículos eléctricos están libres de emisiones, directamente no emiten gases contaminantes, pero al utilizar productos que sí generan emisiones, el vehículo eléctrico se convierte en un emisor indirecto de gases de efecto de invernadero.

Desde otro punto de vista, si los 7.6 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes emitidos con el lubricante sintético y los 5.15 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes resultado del lubricante mineral, son datos respecto a un solo vehículo eléctrico, pero al considerar estas cifras con respecto a la cantidad de vehículos eléctricos existentes en el Ecuador, Latinoamérica e incluso el resto de los continentes, esos kilogramos de CO<sub>2</sub> se multiplican por cada vehículo, lo que representa un gran aporte de gases de efecto invernadero que son emitidos al planeta.

Con respecto a los lubricantes, el de tipo mineral de ultra baja viscosidad tomado para este estudio, es el que mejores resultados genera por su menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> durante su producción.

### **Figura 13**

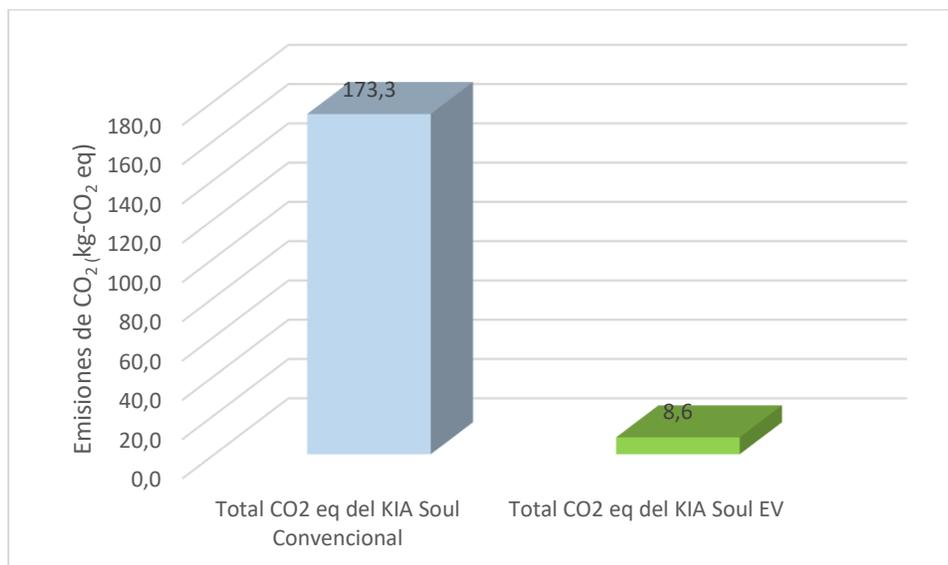
*Emisión de los diferentes elementos a los 200000 km, con el uso de lubricante sintético.*



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 14**

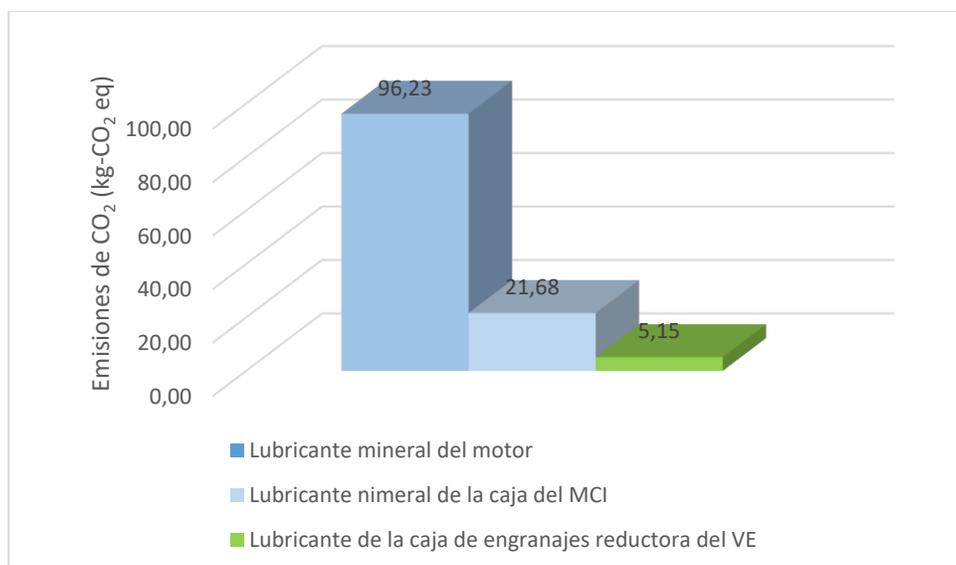
*Comparación de emisiones entre los vehículos analizados, utilizando lubricante sintético.*



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 15**

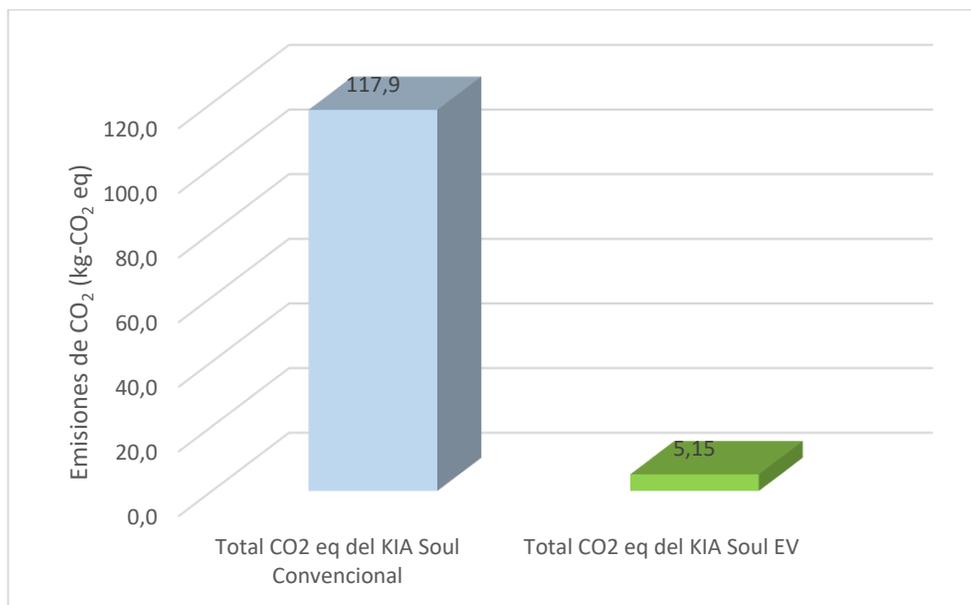
*Emisión de los diferentes elementos a los 200000 km, con el uso de lubricante mineral.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### Figura 16

*Comparación de emisiones entre los vehículos analizados, utilizando lubricante mineral.*



*Nota.* Realizado por los autores.

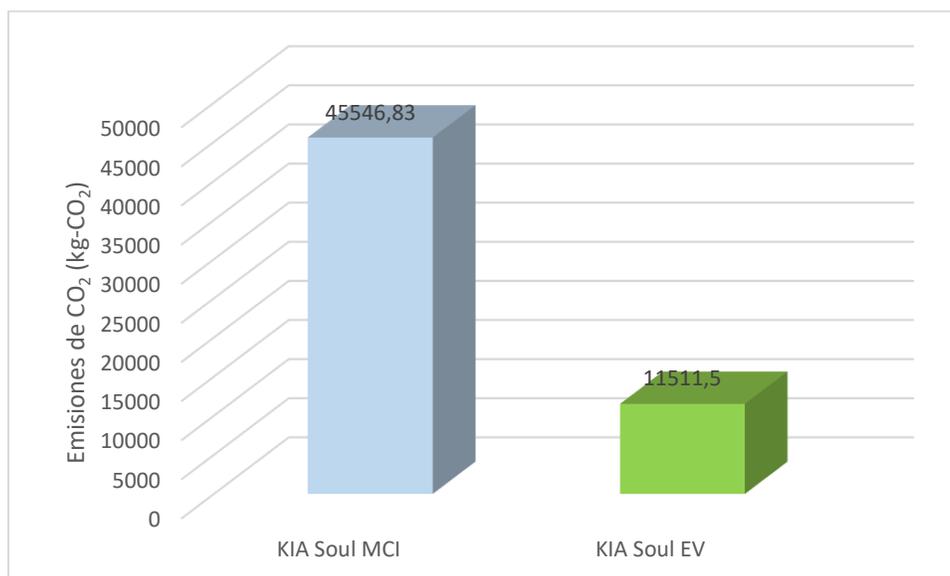
### Análisis comparativo del total de emisiones producidas

Durante el periodo de vida útil un vehículo ya sea a combustión o eléctrico, se hace uso aceites lubricantes, neumáticos, electricidad o combustible para funcionar, por lo tanto, la huella de carbono se determina con respecto a la producción de estos elementos. Al contar con las cifras de emisiones de CO<sub>2</sub> de cada elemento estudiado lo que queda es realizar una sumatoria para obtener el valor total de generación de CO<sub>2</sub> de los vehículos analizados.

Es así como se determina que el KIA Soul EV durante su vida útil de 200000 km genera 11511.5 kg-CO<sub>2</sub> haciendo uso de lubricantes sintéticos, siendo un 74.73% menor que el KIA Soul a combustión interna que posee un mismo periodo de vida útil (Figura 17). Mientras tanto que al utilizar lubricantes minerales produce 11508.05 kg-CO<sub>2</sub>, que es 74.71% menor que la producción de CO<sub>2</sub> del KIA Soul a combustión (Figura 18).

### Figura 17

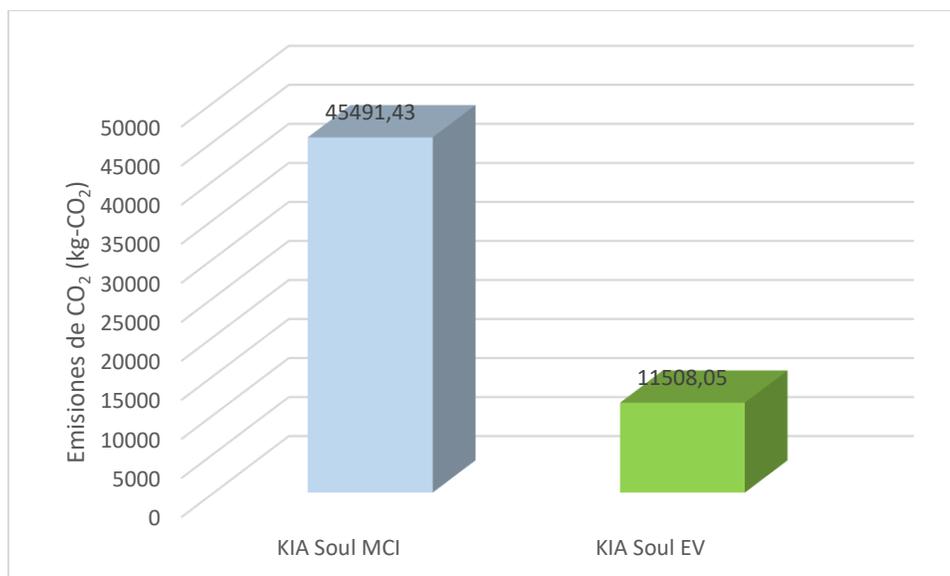
*Comparación del total de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los vehículos analizados utilizando aceite sintético.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### Figura 18

*Comparación del total de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los vehículos analizados utilizando aceite sintético.*



*Nota.* Realizado por los autores.

## Capítulo 4

### Proyecciones de emisiones

#### Emisiones de CO<sub>2</sub> al transformar la matriz energética del Ecuador

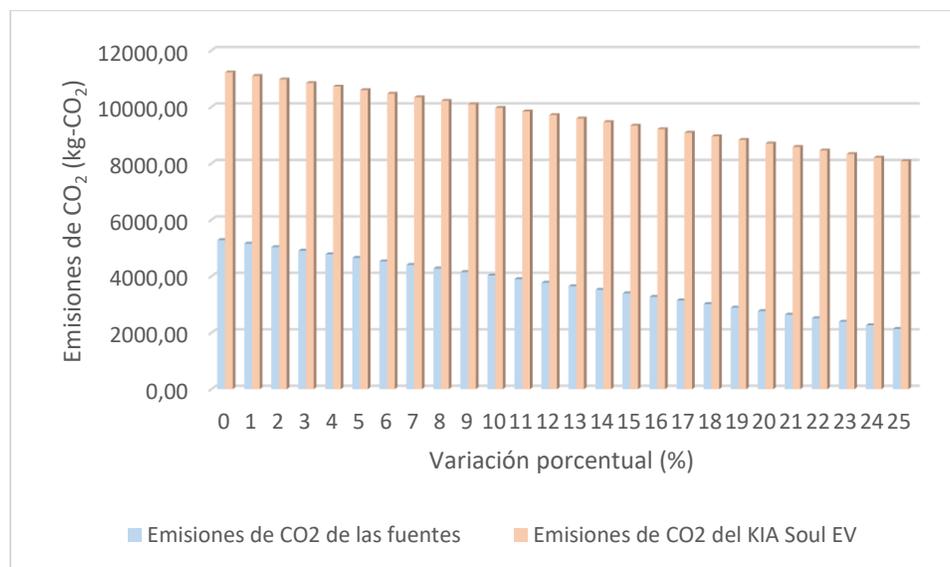
Si bien la matriz energética del Ecuador cuenta con al alto de aporte de generación eléctrica por parte de fuentes renovables, esto gracias a factores geográficos con los que cuenta el país, no se puede dejar de lado la presencia considerable del aporte energético desde fuentes térmicas, las mismas que generan mayor cantidad de CO<sub>2</sub> por cada kilo-watio-hora producido. Entonces, al hablar de una proyección a futuro sobre la situación energética del país, se debe considerar el factor ambiental en donde las energías renovables tengan mayor aporte a la generación eléctrica.

Actualmente las energías renovables representan el 63.17% de la potencia efectiva del país, por lo tanto, al realizar una proyección se espera que este índice porcentual incremente en un 25%, a la vez que disminuye el porcentaje de participación de fuentes termoeléctricas. Bajo este contexto se presentan cuatro posibles escenarios de cómo se vería afectada la huella de carbono del KIA Soul EV según la matriz energética, al producirse dicho incremento de aportación de las energías renovables, pero sin modificar potencia efectiva total.

El primer escenario posible conserva la distribución de la potencia efectiva de las fuentes, es decir, el incremento porcentual se lo hace tanto a las fuentes hidroeléctricas, como a las fotovoltaicas y eólicas. De esta forma se logra que el índice de emisiones de las fuentes eléctricas disminuya un 59.55%, a la vez que las emisiones del vehículo también se reducen en un 28.03%.

#### Figura 19

*Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> de las fuentes eléctricas y del KIA Soul EV conservando la distribución de la potencia efectiva de las fuentes.*



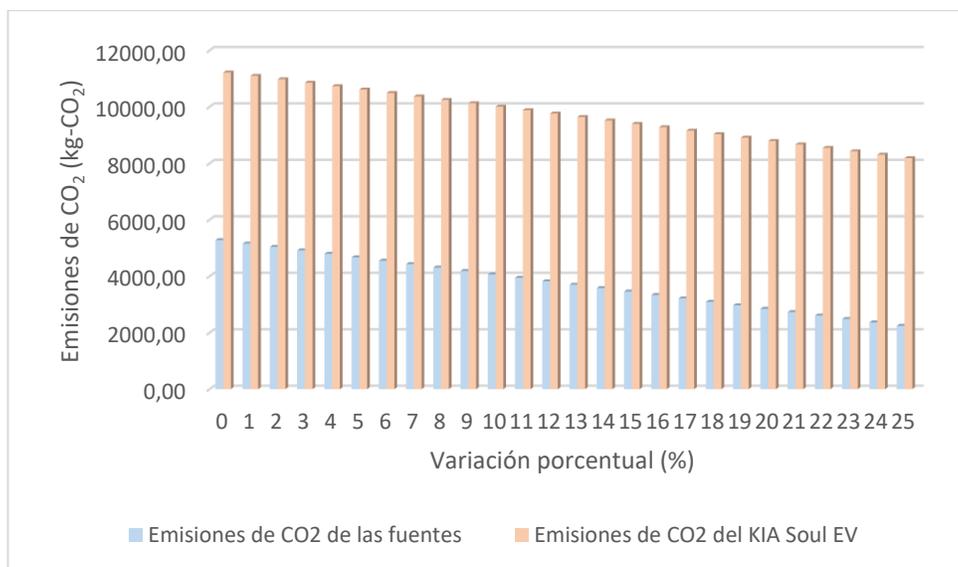
*Nota.* Realizado por los autores.

La segunda proyección incrementa el porcentaje de la potencia efectiva únicamente en las fuentes hidroeléctricas, mientras que las fuentes fotovoltaicas y eólicas mantienen los mismos valores. Con respecto a la primera proyección no se consigue una variación en el índice de emisiones de CO<sub>2</sub>, puesto que, las emisiones de las fuentes eléctricas disminuyen un 59.56%, mientras que las emisiones del vehículo bajan un 28.02%.

En la tercera proyección se enfoca el incremento de la potencia efectiva hacia las fuentes fotovoltaicas, conservando los valores de las fuentes hidroeléctricas y eólicas. Es así como la diferencia en el índice porcentual de las emisiones de las fuentes eléctricas es del 57.51%, mientras que en las emisiones del vehículo es de 27.07%.

**Figura 20**

*Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> de las fuentes eléctricas y del KIA Soul EV incrementando la potencia efectiva en las fuentes fotovoltaicas.*

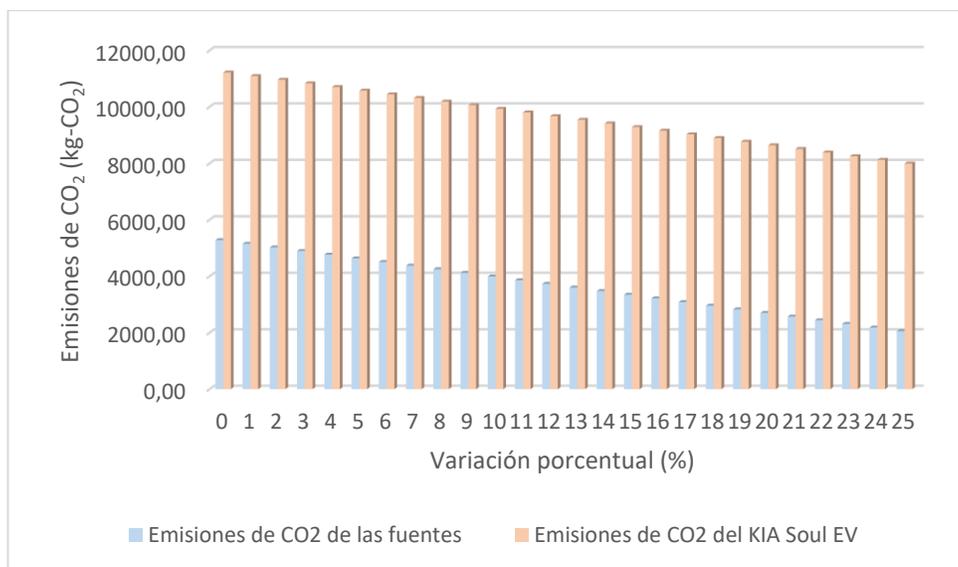


*Nota.* Realizado por los autores.

La última proyección considera solamente a las fuentes eólicas para incrementar la potencia efectiva, manteniendo los valores de las fuentes hidroeléctricas y fotovoltaicas. Los índices de emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos, son más bajos en comparación a las proyecciones antes analizadas, esto se debe a que las emisiones de CO<sub>2</sub> por cada kilo-watio-hora producido por fuentes eólicas son las más bajas. Por lo tanto, las fuentes eléctricas disminuyen sus emisiones un 61.09%, a la vez que las emisiones del vehículo se reducen en un 28.75%.

**Figura 21**

*Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> de las fuentes eléctricas y del KIA Soul EV incrementando la potencia efectiva en las fuentes eólicas.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### **Uso de materia prima alternativa en neumáticos para reducir la huella de carbono**

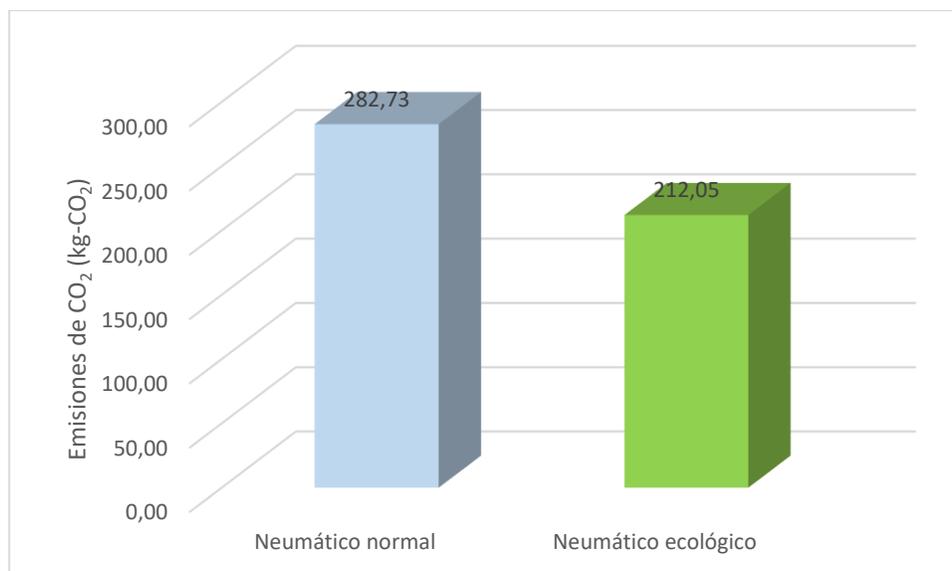
El futuro de los neumáticos se centra en la implementación de nuevas materias primas y materiales provenientes del reciclaje, esto con el propósito de sustituir materiales tales como el silicio, cloro y azufre que se utilizan hoy en día durante el proceso de fabricación.

La empresa fabricante de neumáticos Goodyear (2021) le apuesta a la utilización de nuevas materias primas para reducir el consumo de energía y emisiones de GEI en el proceso de fabricación de neumáticos, haciendo uso de sílice de ceniza de cáscara de arroz y aceites de soja.

Con esto se espera reducir la emisión de gases en un 25%, por lo tanto, la huella de carbono del KIA Soul EV disminuiría de 282.73 kg-CO<sub>2</sub> a 212.05 kg-CO<sub>2</sub> al emplear estos nuevos neumáticos fabricados a base de nuevas materias primas.

**Figura 22**

*Comparación de emisiones de CO<sub>2</sub> de los neumáticos del KIA Soul EV al implementar nuevas materias primas.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### **Resultados de la proyección en el uso de aceites lubricantes de base mineral y sintético.**

Para determinar las emisiones equivalentes en este estudio fue necesario valerse de los resultados de Ishizaki & Nakano (2018), la Tabla 9 muestra que en la producción de un litro de lubricante mineral de ultra baja viscosidad la contaminación es de 0.99 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes, y las emisiones en la producción de un litro de lubricante sintético de ultra baja viscosidad es de 1.65 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes. Otro punto muy importante son los intervalos del cambio de aceite, es decir, los kilómetros recomendados en para realizar el cambio según su fabricante, para efecto de análisis se fija a 7500 km para el caso de los motores de combustión interna, 90000 km es lo establecido para la caja de cambios automática del motor a combustión y para el vehículo eléctrico se recomienda 60000 km para su caja de engranajes reductores, esto es el cambio de aceite tanto para los minerales como para los sintéticos. Por último, se considera el volumen de lubricante utilizado. En cada cambio de aceite se registra el volumen, y así, hacer la proyección del volumen total

utilizado a lo largo del recorrido establecido, es decir, al final de los 200000 km de vida útil del vehículo.

### **Lubricantes sintéticos utilizado en el vehículo KIA Soul convencional**

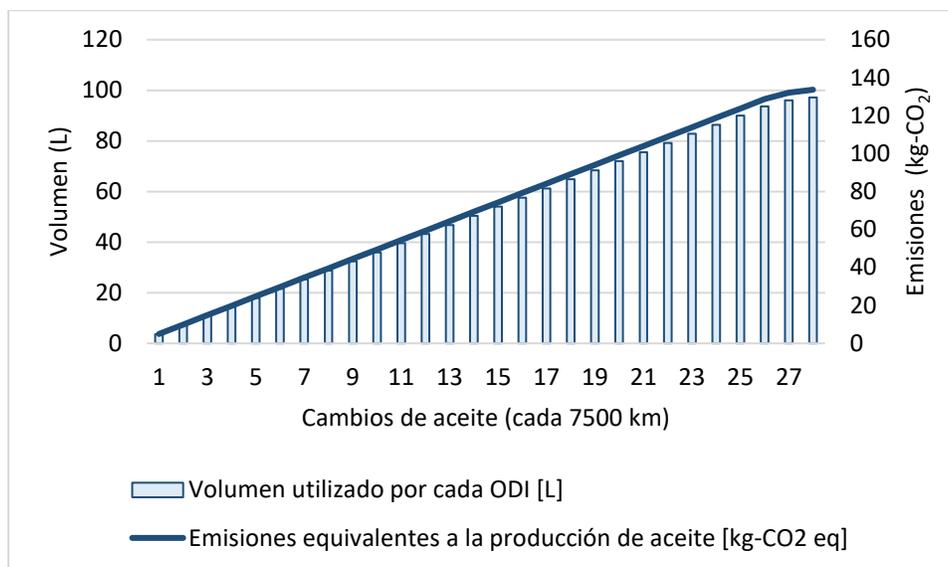
Considerando datos como que para producir un litro de lubricante sintético se genera 1.65 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes, la vida útil del vehículo son 200000 km y que los cambios de aceite del motor se realizan a los 7500 km, esto quiere decir que se requiere de 27 cambios de aceite hasta llegar al final de la vida útil. Se registra cada cambio de aceite del motor, al inicio se requiere de 3.6 litros que equivalen a 4.95 kg-CO<sub>2</sub>, pero al final de la vida útil serán 97.2 litros que equivaldrán a 133.65 kg-CO<sub>2</sub>.

Para la caja de cambios automática que trabaja junto al motor de combustión interna, el fabricante recomienda realizar el cambio cada 90000 km y por cada cambio se utilizan 7.3 litros de lubricante lo que es equivalente a 13.2 kg-CO<sub>2</sub>, por lo tanto, al final de la vida útil se tendrá un volumen de 21.9 litros los cuales equivalen a 39.6 kg-CO<sub>2</sub>.

Entonces, el total de lubricante sintético que utilizaría el KIA Soul convencional durante su vida útil es de 119.1 litros, lo que representa la producción de 161.3 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes. Eso se lo puede evidenciar en las Figuras 23, 24 y 25.

### **Figura 23**

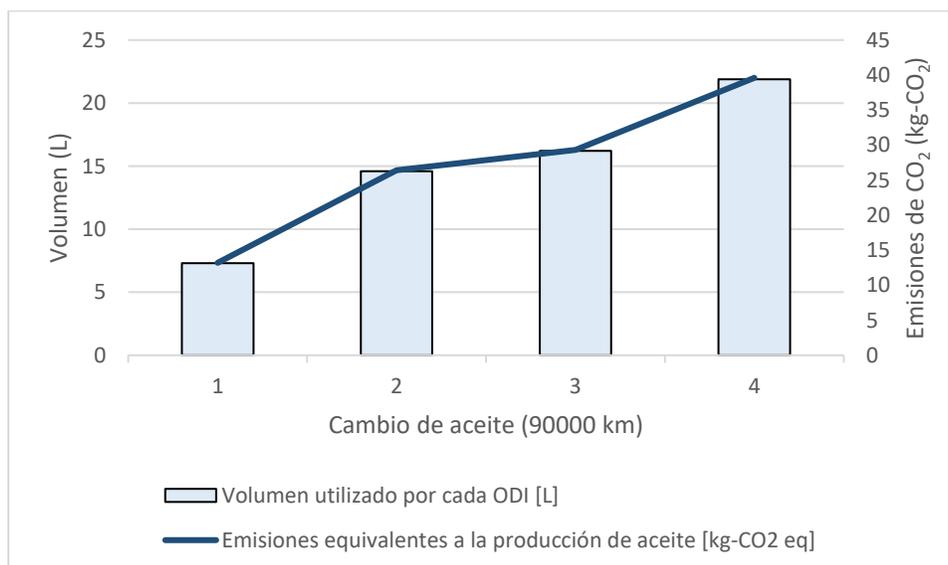
*Proyección de la utilización de lubricante sintético de ultra baja viscosidad en el motor de combustión.*



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 24**

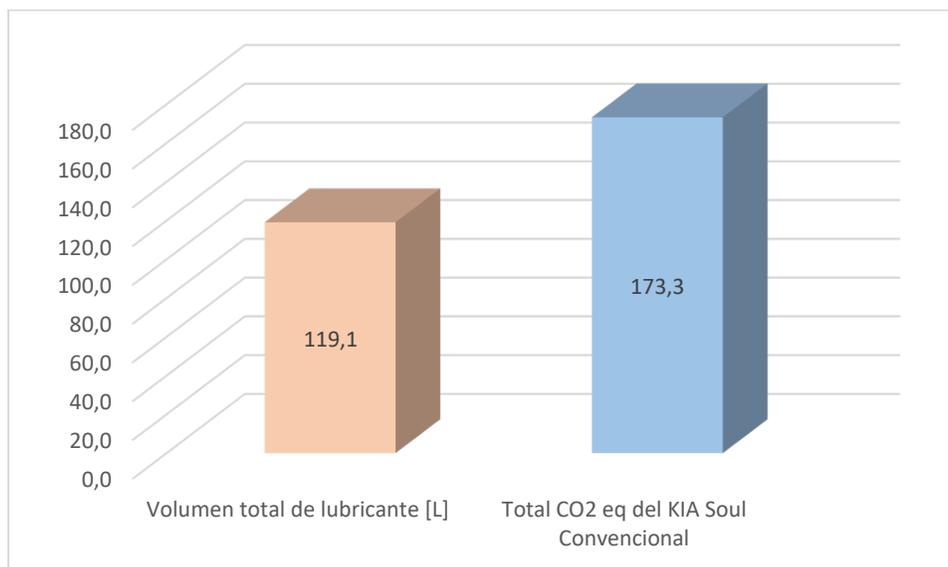
Proyección del uso de lubricante sintético de ultra baja viscosidad en la caja automática del MCI.



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 25**

*Resultado de aplicar lubricante sintético de ultra baja viscosidad en el KIA Soul convencional.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### **Lubricante mineral utilizado en el vehículo KIA Soul convencional**

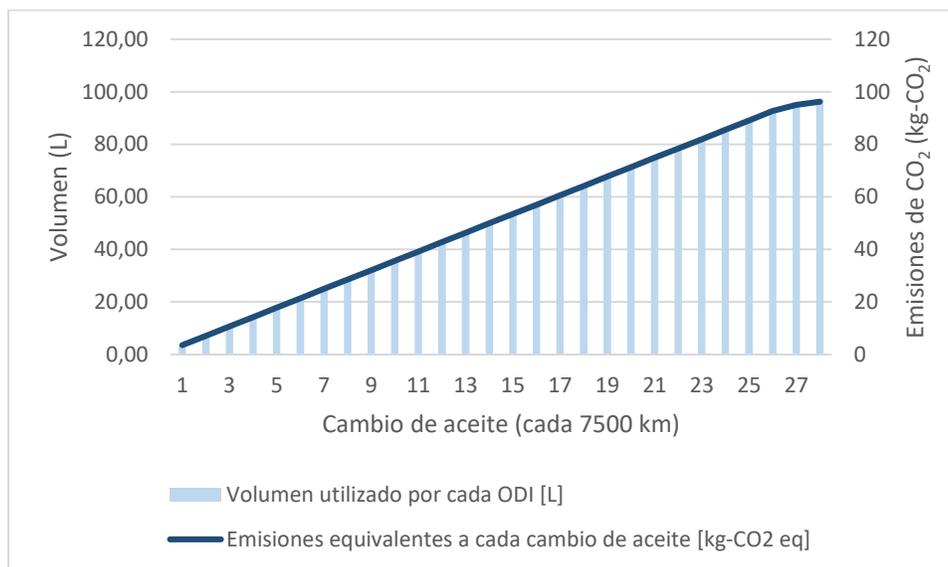
Se conoce que inicialmente el motor requiere de 3.6 litros de aceite para su funcionamiento, esta cantidad representa 3.56 kg-CO<sub>2</sub>, pero al registrar la cantidad utilizada de lubricante en cada cambio se obtiene un dato acumulado con el que finalmente se estima un volumen utilizado de 37.2 litros que representan 36.23 kg-CO<sub>2</sub>.

Con respecto a la caja de cambios automática, se requiere de 7.3 litros para su funcionamiento ideal, lo que a su vez produce 7.23 kg-CO<sub>2</sub>, pero conforme se hace uso de la vida útil del vehículo se estima un consumo de 21.3 litros, dejando así un total de 21.7 kg-CO<sub>2</sub>.

La totalidad de lubricante mineral de ultra baja viscosidad utilizado en el KIA Soul convencional es de 119 litros, esto se traduce en la generación total de 117.9 kg-CO<sub>2</sub> equivalentes. Se puede apreciar las proyecciones del uso de lubricante y sus emisiones en las Figuras 26, 27 y 28.

### **Figura 26**

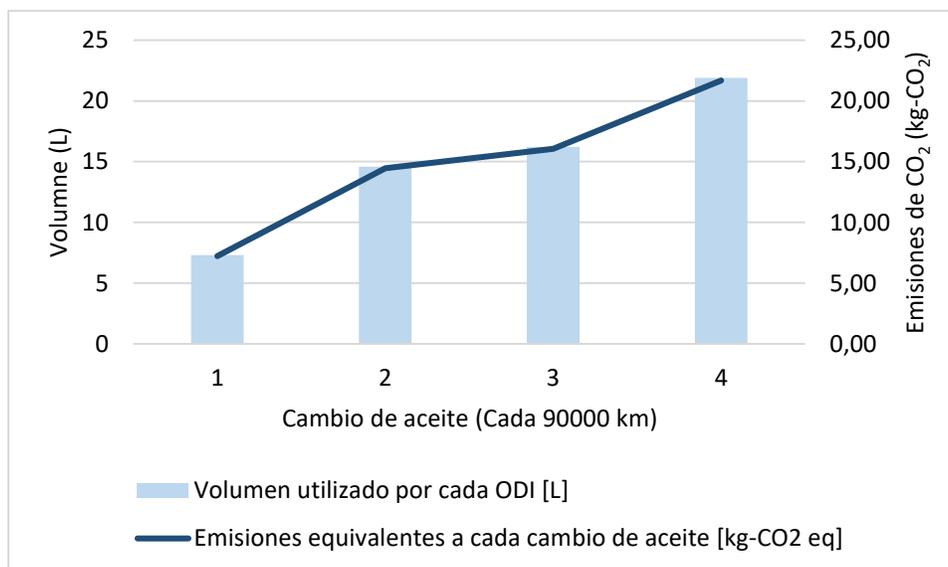
*Proyección de uso de lubricante mineral de ultra baja viscosidad en el motor de combustión.*



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 27**

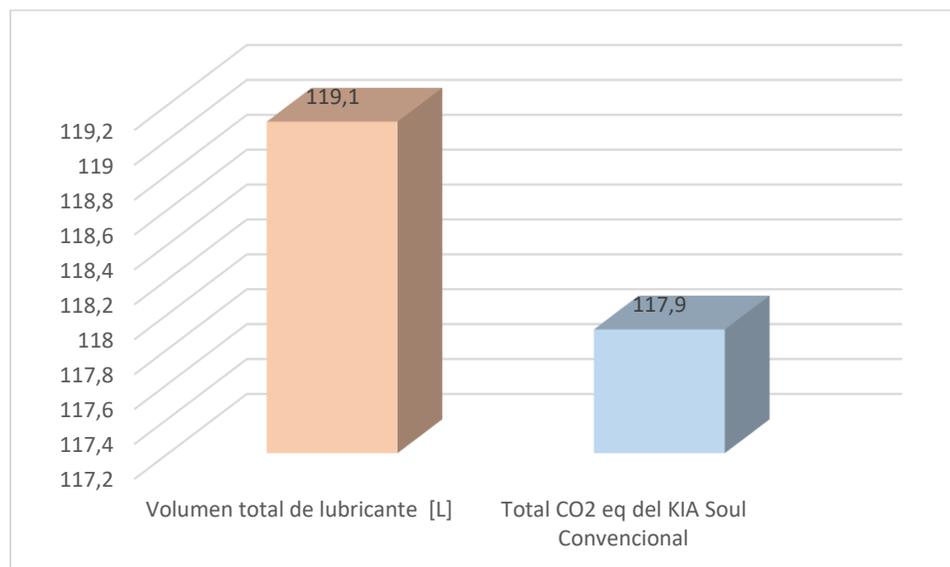
*Proyección del uso de lubricante mineral de ultra baja viscosidad en la caja automática del MCI*



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 28**

*Resultado de aplicar lubricante mineral de ultra baja viscosidad en el KIA Soul convencional.*



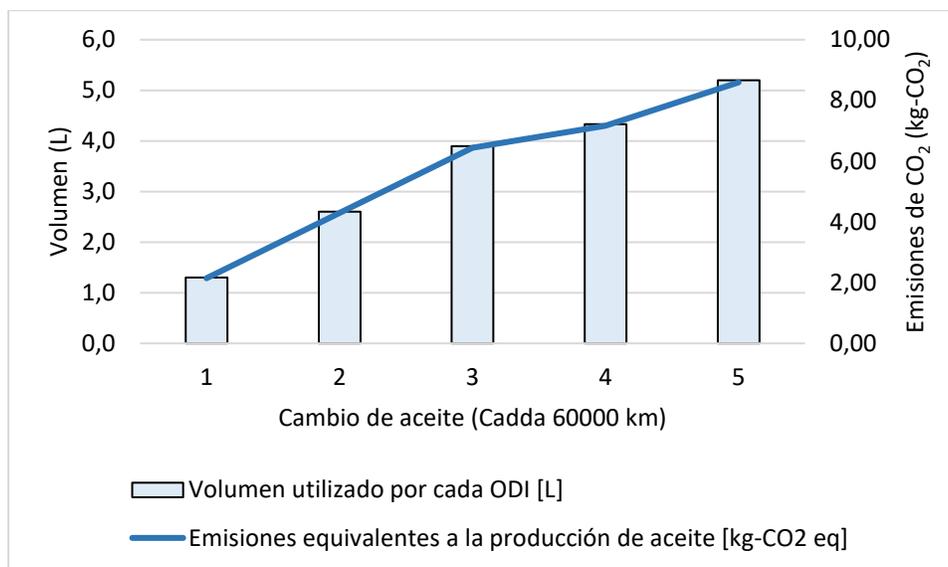
*Nota.* Realizado por los autores.

### **Lubricantes sintéticos utilizado en el vehículo KIA Soul EV.**

Según el fabricante al utilizar lubricante sintético de ultra baja viscosidad en la caja de engranajes reductores de un vehículo eléctrico, este elemento solo requiere de una cantidad de 1.3 litros, con un intervalo de cambio de aceite de 60000 km; con esa información se puede determinar que para los 1.3 litros, se obtiene 2.15 kg-CO<sub>2</sub>, y que al final de la vida útil se habrá acumulado un volumen total de 5.2 litros lo que equivale a 8.6 kg-CO<sub>2</sub>. Para efecto del análisis se presenta en las Figuras 29 y 30 la proyección del uso de lubricante, el total de lubricante y emisiones.

**Figura 29**

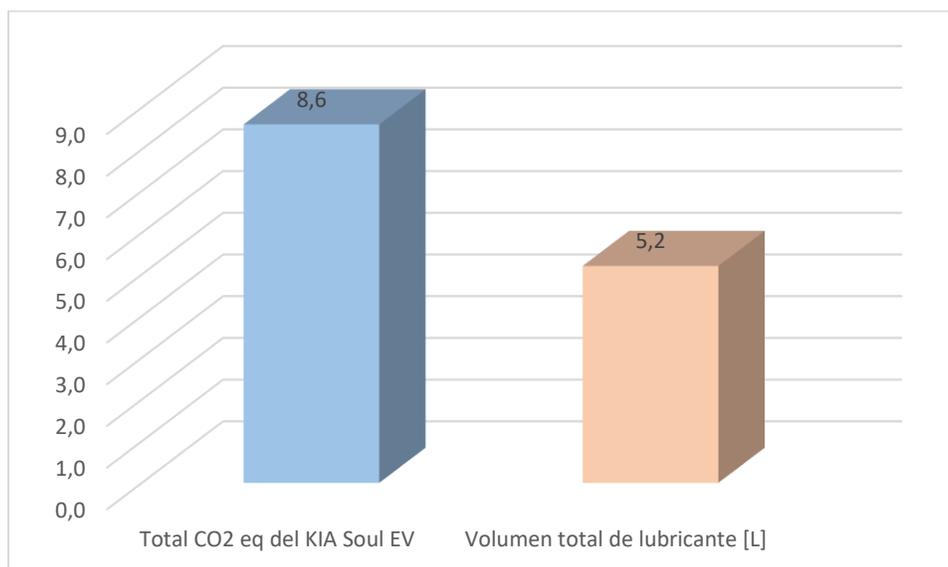
*Proyección del uso de lubricante sintético de ultra baja viscosidad en la caja de engranajes reductores.*



*Nota.* Realizado por los autores.

### Figura 30

*Resultado de aplicar lubricante sintético de ultra baja viscosidad en el KIA Soul EV.*



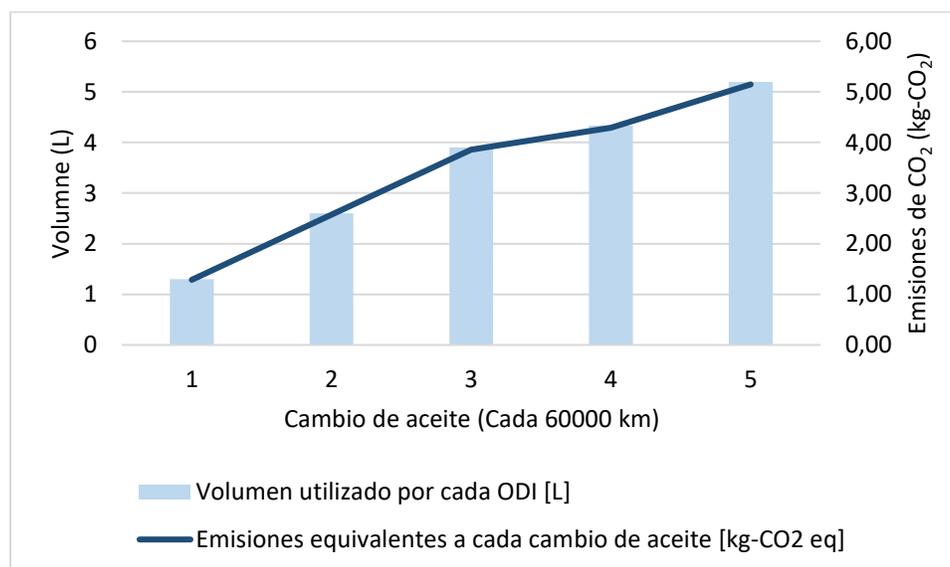
*Nota.* Realizado por los autores.

### Lubricante mineral utilizado en el vehículo KIA Soul EV.

Para el uso de lubricante mineral de ultra baja viscosidad en el vehículo eléctrico, de igual manera solo se utilizaría en la caja de engranajes reductores. Como ya se mencionó anteriormente, este elemento requiere de una cantidad de 1.3 litros, con un intervalo de cambio de aceite de 60000 km; por lo tanto, si los 1.3 litros generan un 2.15 kg-CO<sub>2</sub>, al final de la meta establecida este habrá acumulado un volumen total de 5.2 litros que equivaldrán a 8.6 kg-CO<sub>2</sub>. Para efecto del análisis se presenta en las figuras 31 y 32 la proyección del uso de lubricante, el total de lubricante y emisiones.

#### Figura 31

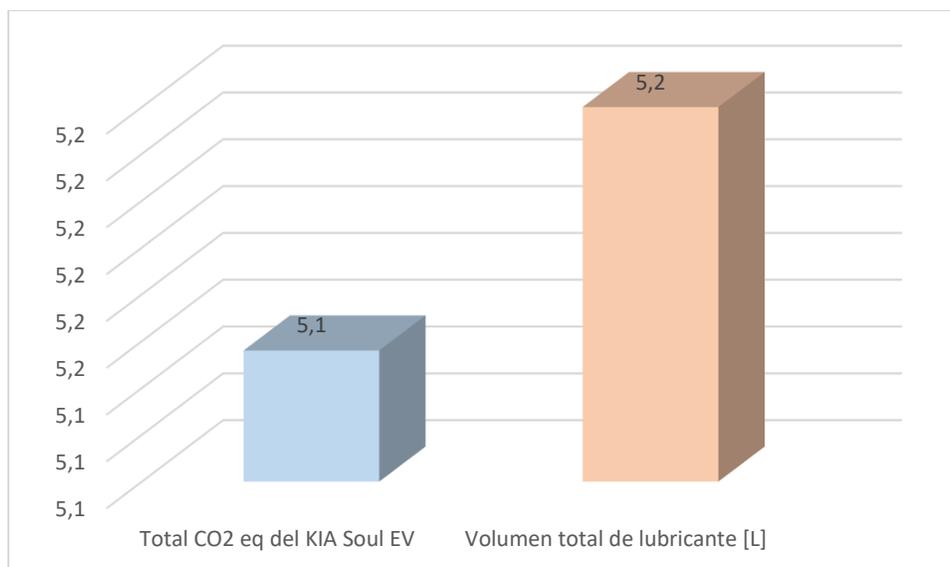
*Proyección del uso de lubricante mineral de ultra baja viscosidad en la caja de engranajes reductores.*



*Nota.* Realizado por los autores.

**Figura 32**

*Resultado de aplicar lubricante mineral de ultra baja viscosidad en el KIA Soul EV.*



*Nota.* Realizado por los autores.

## **Conclusiones**

La implementación de vehículos eléctricos en el parque automotor del Ecuador resulta viable desde el punto de vista medio ambiental, como lo muestra este estudio, en donde, la huella de carbono de estos vehículos es menor en comparación a vehículos a combustión interna de similares características.

Se ha demostrado que el uso de energías renovables y materias primas alternativas o provenientes del reciclaje contribuyen a disminuir el índice de huella de carbono en vehículos eléctricos.

En general la huella de carbono resulta ser una herramienta poderosa para identificar amenazas en productos o servicios, puesto que ayuda a determinar la cantidad de emisiones que se pueden estar generando, esto permite desarrollar estrategias para innovar en los procesos empleados o en los materiales utilizados y así llegar a una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **Recomendaciones**

Dentro del análisis realizado en el vehículo eléctrico, se determinó que la producción energética es la que más emisiones de CO<sub>2</sub> aporta en el cálculo de la huella de carbono, entonces, se recomienda incrementar el aporte de generación eléctrica por parte de fuentes renovables, con el fin de disminuir el índice de emisiones.

Al pretender realizar un incremento del aporte de generación eléctrica de las fuentes renovables, se debe tomar en cuenta que esto implica una inversión en infraestructura, la cual se recomienda enfocar hacia las fuentes de producción eólicas, debido a que estas son las que generan una menor cantidad de emisiones durante la producción de energía.

## Bibliografía

- ACEA: *Dirving Mobility Europe*. (1 de Noviembre de 2022). [www.acea.auto](http://www.acea.auto):  
<https://www.acea.auto/about-acea/>
- API. (28 de Octubre de 2022). *American Petroleum Institute*. [www.api.org](http://www.api.org):  
<https://www.api.org/products-and-services/es/eolcs-oil-categories#tab-gasoline>
- ARCERNNR. (2021). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2020*. Técnico. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- ASM Oil. (2022). *myoilbuddy.com*. Authorized AMS Oil: <https://myoilbuddy.com/noack-volatility-test-astm-d5800-defined-per-astm-standards-and-meaning/>
- Asociación Española para la Calidad. (2011). *La huella de carbono*. Técnico. [https://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=bf01ec8e-7513-46e1-8d1a-46a4c6f7784b&groupId=10128](https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=bf01ec8e-7513-46e1-8d1a-46a4c6f7784b&groupId=10128)
- Bhandari, R., Kumar, B., & Mayer, F. (2020). *Life cycle greenhouse gas emission from wind farms in reference to turbine sizes and capacity factors*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123385>
- Bossio, D. (2014). IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA HUELLA DE CARBONO PARA UNA EMPRESA DE TRANSPORTE. <https://revistavial.com/logistica-verde-importancia-del-conocimiento-de-la-huella-de-carbono-para-una-empresa-de-transporte/>
- Briones, A., & Uche, J. (2017). *Accounting for GHG net reservoir emissions of hydropower in Ecuador*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.047>

British Standar Institution. (2022). *bsi*. bsigroup: <https://www.bsigroup.com/es-ES/Neutralidad-en-Emissiones-de-carbono-PAS-2060/>

British Standards Institution . (2008). *www.iso.org*. Organización Internacional de Normalización: <https://www.iso.org/member/2064.html>

CMNUCC. (2022). *unfccc.int*. Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>

Córdova Suárez, M. A. (2018). Estudio de la Huella de Carbono en Unidades Desconcentradas de Terminales Terrestres. *Revista Politécnica*, 39-44. [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/907](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/907)

Francisco Aparicio Izquierdo, C. V. (1995). *Teoría de los vehículos automóviles* . DEXTRA.

GOOD YEAR. (4 de mayo de 2021). *La huella de carbono de los neumáticos: claves para su reducción*. <https://kilometrosquecuentan.goodyear.eu/huella-carbono-neumaticos/#:~:text=El%20impacto%20ambiental%20de%20los,produce%20mientras%20circulan%20por%20las>

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2022). *Cambio Climático: Una amenaza para el bienestar de la humanidad y la salud del planeta*. Técnico. <https://n9.cl/4ocgd>

Gutiérrez, L. (2021). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE*. Técnico, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, Tunja. [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/8698/1/Estimacion%20\\_huella\\_de\\_carbono.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/8698/1/Estimacion%20_huella_de_carbono.pdf)

- Hall, D., & Lutsey, N. (2018). *Effects of battery manufacturing*. Técnico, The International Council On Clean Transportation . [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/EV-life-cycle-GHG\\_ICCT-Briefing\\_09022018\\_vF.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf)
- IPCC. (2013). *Contribution to the IPCC Fifth assessment report Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Técnico. [http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5\\_WGI-12Doc2b\\_FinalDraft\\_All.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf)
- Ishizaki, K., & Nakano, M. (2018). Reduccion de emisiones de CO2 y análisis de costos del aceite de ultrabaja viscosidad para motores. *MDPI Lubricants*, 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11. <https://doi.org/10.3390/lubricantes6040102>
- ISO 14067. (2013).
- Jácome, J. F. (2015). *Policultivo de plantas medicinales/aromáticas implementado en maceteros diseñados a partir de llantas recicladas* .
- Jiménez, L. (2010). Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono. Retrieved 28 de octubre de 2022, from [https://www.researchgate.net/publication/282132754\\_Enfoques\\_metodologicos\\_para\\_el\\_calculo\\_de\\_la\\_huella\\_del\\_carbono](https://www.researchgate.net/publication/282132754_Enfoques_metodologicos_para_el_calculo_de_la_huella_del_carbono)
- Jorge Hernández, R. F. (2022). Evaluación de la huella de carbono de vehículos con motor eléctrico y de combustión interna según la matriz energética de Ecuador: Caso de estudio KIA Soul vs KIA Soul EV. *Novasinerгия*(05 julio 2022), 18. <https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.10.04>
- KIA Media. (25 de Octubre de 2022). *KIA Media*. [www.kiamedia.com:https://www.kiamedia.com/us/es/models/soul/2016/features](http://www.kiamedia.com:https://www.kiamedia.com/us/es/models/soul/2016/features)

KIA Motors. (2016). *Manual del propietario*.

López, A. (2014). *ESTUDIO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UN COMPONENTE DEL AUTOMÓVIL*. Técnico. <https://core.ac.uk/download/pdf/41815414.pdf>

Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Retrieved 27 de Octubre de 2022, from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas. (1998). *PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Naciones Unidas. (21 de Abril de 2015). *United Nations Climate Change*. Ecuador acepta la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto: <https://unfccc.int/es/news/ecuador-acepta-la-enmienda-de-doha-al-protocolo-de-kyoto#:~:text=Ecuador%20acepta%20la%20Enmienda%20de%20Doha%20al%20Protocolo,la%20notificaci%C3%B3n%20el%2020%20de%20abril%20de%202015>.

NREL-U.S. (2012). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics*. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). *ISO 14067:2018 Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos y directrices para cuantificación*. Técnico. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

Ozdemir, A. (2020). *Comparative study on Well-to-Wheels emissions between fully electric and conventional automobiles in Istanbul*. Técnico. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102508>

Parra, R. (2015). *Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.269>

PAS 2050. (2008).

The Greenhouse Gas Protocol. (2003). The GHG Protocol Project.  
<https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/3134/39470>