

# ESTIMACIÓN DE LA HUELLA CARBONO DE LA ELECTROMOVILIDAD EN EL PERÚ

## CARBON FOOTPRINT ESTIMATE FOR ELECTROMOBILITY IN PERU

Edward Santa María-Dávila <sup>1</sup>, Alan Alaya-Obregón <sup>2</sup> , Yoner Sánchez-Agurto<sup>3\*</sup> 

<sup>1,2,3</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido (Received): 28 / 09 / 2023 Aceptado (Accepted): 21 / 11 / 2024

### RESUMEN

El transporte es el sector de mayores emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el Perú, y casi completamente dependiente de los recursos energéticos fósiles. Para el presente análisis se ha tomado en cuenta la comparación de las emisiones de carbono durante la producción de electricidad, que podrá servir como base para entender la huella carbono (HC) de las alternativas que puedan derivarse por el uso de los vehículos eléctricos. A partir de los valores estimados de emisiones según tipo de fuente de generación eléctrica (renovable o térmica), se han realizado escenarios para el cálculo de emisiones bajo condición de electromovilidad empleando un auto sedán. La HC del vehículo a combustión es de 180 gCO<sub>2</sub>eq/pas-km, mientras que, la HC de los vehículos eléctricos con energía renovable, electricidad nacional y electricidad fósil son 12, 89 y 140 gCO<sub>2</sub>eq/pas-km respectivamente. La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> eq. con la energía eléctrica renovable es del 93%, mientras que, con la energía eléctrica térmica se logra el 22%, en ambos casos, respecto a la fuente de energía actual: la gasolina. En este artículo también trataremos de mostrar numéricamente como el uso de la energía eléctrica renovable hará del transporte más sostenible debido a la reducción considerable de emisiones de CO<sub>2</sub>.

*Palabras Clave:* Electromovilidad, huella carbono, eléctrica renovable, eléctrica térmica, unidad funcional.

### ABSTRACT

Transportation is the sector with the highest Greenhouse Gases (GHG) emissions in Peru, and it is almost completely dependent on fossil energy resources. For the present analysis, we take into account carbon emissions during the production of electricity which may serve as a basis for understanding the carbon footprint (CF) of the alternatives that may be derived from the use of electrical vehicles. Based on the estimated values of emissions according to the type of electricity generation source (renewable or thermal), we have created scenarios to calculate emissions under the condition of electromobility using a sedan car. The CF of the combustion vehicle is 180 gCO<sub>2</sub>eq/pas-km, while the CF of electric vehicles with renewable energy, national electricity and fossil electricity are 12, 89 and 140 gCO<sub>2</sub>eq/pas-km respectively. The reduction of CO<sub>2</sub> emissions eq. with renewable electrical energy is 93%, while 22% with thermal electrical energy; with respect to the current energy source: gasoline. In this work we also aim to numerically show how the use of renewable electrical energy could make transport more sustainable due to the overall reduction of CO<sub>2</sub> emissions.

*Keywords:* Electromobility, carbon footprint, renewable electricity, thermal electricity, functional unit.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las diferentes actividades humanas producen emisiones de gases efecto invernadero que, a su vez, se pueden correlacionar con los efectos equivalentes del dióxido de carbono. La era industrial iniciada hace más de 100 años ha generado una fuente intensa de emisiones antrópicas de diferentes gases, muchos de ellos con efectos potencialmente dañinos para la biósfera del planeta Tierra, y que no se observan inmediatamente, sino que requieren de escalas temporales importantes (años o décadas) y observaciones en espacios geográficos amplios, regionales, continentales, e incluso a nivel global.

En el Perú, el 40% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero son causadas por el sector transporte. Entre las causas principales se tienen, el aumento de la tasa de motorización y de urbanización en el país, aumento del uso de transporte público y flota de vehículos de transporte público obsoletos. Estos Factores indicados, resultan en un incremento en el volumen de tráfico, mayor congestión, por tanto, elevados niveles de contaminación. [1]

Los Recursos Energéticos Renovables (RER), generan impactos ambientales significativamente inferiores en comparación a las energías fósiles, debido a que comprenden tecnologías de baja emisión de carbono, además, los RER favorecen el acceso a la energía y contribuyen al logro de los objetivos de seguridad de suministro y sostenibilidad ambiental. [2]

<sup>3\*</sup>Corresponding author:  
Email: [ysancheza@uni.pe](mailto:ysancheza@uni.pe)

Es evidente que la producción de energías renovables continúa en aumento, como se refleja en los datos proporcionados para el año 2020. La producción total de energías renovables alcanzó los 3.269 TWh en ese año, lo que representa un notable 31,6% de la producción total en los países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). La producción de electricidad a partir de fuentes renovables superó la producción de energía proveniente de combustibles fósiles por segundo año consecutivo. Además, esta tendencia también refleja una disminución progresiva de la dependencia de fuentes tradicionales de energía, como el carbón, en la generación de electricidad. [3]

La electromovilidad contribuirá a incrementar la seguridad y la resiliencia energética, ayudará a reducir los efectos negativos en la salud, mejorará los servicios de transporte e impactará con el proceso de reducción de los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. [4]

Migrar hacia un transporte eléctrico podrá mejorar la eficiencia del transporte y hacer del Perú un país sostenible en el sector para las futuras generaciones. La responsabilidad del sector es reducir las 12.2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> para el 2030. [5]

## 2. ANTECEDENTES

### Huella energética de los materiales

Para determinar la HC se debe inventariar los materiales, equipos de construcción y mano de obra. Cada uno de ellos tiene un aporte de emisiones de efecto invernadero en sus diferentes etapas del ciclo de vida, es decir, durante su extracción, producción, fabricación, utilización y disposición final. Algunos materiales pueden reducir su huella si forman parte de un sistema productivo de reciclaje, es decir, si se introducen procesos de economía circular. [6]

La HC proviene principalmente del consumo energético durante la fabricación de materiales. De esta forma, podemos notar que los materiales que requieren de grandes hornos a altas temperaturas generarán HC más importantes, este es el caso de los principales materiales que se utilizan en la industria de la construcción, como el cemento, el asfalto, el acero de refuerzo, los ladrillos de arcilla, los agregados, los combustibles para la maquinaria pesada. [6]

### Generación de energía renovable

La generación de energía renovable tiene bajas emisiones de carbono, debido a que se derivan de la energía solar (fotovoltaica, eólica, hídrica) o de la geotermia (energía ya contenida en la corteza terrestre desde la formación planetaria). [2] Debido a su

condición de flujos, la energía renovable no se encuentra almacenada y es convertida en electricidad para su mejor aprovechamiento. Por otro lado, los recursos energéticos de origen fósil han sufrido un proceso de almacenamiento de energía solar en los restos biológicos, lo cual cubre dos condiciones esenciales para su aprovechamiento, su contenido energético y por encontrarse naturalmente almacenada en las capas geológicas.

### Electromovilidad en el Perú

Según el reporte de la Asociación Automotriz del Perú (AAP), las ventas de vehículos eléctricos van en crecimiento durante el tercer trimestre del año 2024, comercializándose 5010 de estas unidades, cantidad superior en 56% respecto al similar mes del 2023. Por tipo de tecnología, la AAP indicó que, en lo que va del año, los vehículos ecoamigables más comercializados fueron los híbridos convencionales HEV (Hybrid Electric Vehicle) con 4514 unidades, representando el 90% del total de vehículos vendidos hasta el momento. [7]

El gobierno peruano ve viable la incorporación de vehículos eléctricos en el transporte urbano. En esa línea, se ha publicado la ley 31596 en un marco de régimen excepcional de renovación y/o autorizaciones de los servicios de transporte con la posibilidad de ampliarse ante un esquema de renovación de flota con tecnologías limpias y cero emisiones. Por su parte, la Autoridad del Transporte Urbano de Lima y Callao (ATU) ha publicado la Resolución de Presidencia Ejecutiva N°203-2023-ATU/PE, norma que impulsa el cambio de la matriz energética y la renovación del parque automotor. [8]

### Minicentral hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es un conjunto de instalaciones y equipos electromecánicos necesarios para transformar la energía potencial hídrica en energía eléctrica. La energía eléctrica disponible es proporcional al caudal de agua y la altura del salto. Las minicentrales hidroeléctricas tienen mayor aceptación social debido a que no suelen generar espejos de agua ni zonas de inundación, además, su huella ambiental suele ser baja debido a que no se requieren grandes represamientos ni caudales importantes, reduciendo su impacto. [9]

### Parque Fotovoltaico

Un parque solar es una instalación de energía solar a gran escala, compuesto por un gran número de placas solares interconectadas. Estos requieren varios inversores, una sala de control centralizada y transformadores de alta tensión para su funcionamiento. Los parques solares son creados con la finalidad de captar grandes cantidades de luz solar y transformarla en energía eléctrica. El emplazamiento de

los parques fotovoltaicos estará relacionado con la irradiancia del lugar. [10]

### Parque Eólico

El viento es una de las fuentes renovables y limpias usadas para generar energía eléctrica, y lo hacen a través de aerogeneradores, estructuras que posibilitan la transformación de energía dinámica en electricidad. Un solo aerogenerador no es suficiente para abastecer las necesidades de una población, por tal motivo, se tienen un conjunto de aerogeneradores en un mismo espacio, lo que se conoce como parque eólico. [11]

### Central Térmica

Una central térmica es una planta eléctrica que convierte un recurso fósil (gas natural, carbón, derivados del petróleo) en energía eléctrica. Existen plantas térmicas que generan electricidad a partir de turbinas que funcionan con vapor de agua, y otros motores de menor escala que trabajan con la energía química de los gases producto de la combustión.

### Desbroce

El desbroce del terreno es tan simple como limpiar un terreno natural a fin de poder trabajar en ella con más comodidad. Es un proceso de limpieza de basura y malas hierbas, además, incluso de pequeños movimientos de tierras con el objetivo de proceder a una obra de edificación u obtener un terreno cultivable. [12]

### Deforestación

La deforestación es un proceso dado por la acción humana, en el cual se destruye la superficie forestal mediante tala o quema de árboles a fin de tener un terreno apto para la instalación de un proyecto específico. [13]

## 3. PROBLEMÁTICA

¿Cómo medir la huella energética y de carbono de la construcción de infraestructura de generación de energía? ¿Cuál es el impacto de la promoción de la electromovilidad en la reducción de la huella de carbono

Objetivo: Estimar la huella energética y de carbono de la construcción de infraestructura de generación eléctrica (mini-central hidroeléctrica, parque fotovoltaico, parque eólico, mini-centrales térmica) en su ciclo de vida, y su relación con la electromovilidad.

Hipótesis: La generación eléctrica de fuente térmica tiene una huella muy superior (>10 veces) a las que se producen a través de los recursos energéticos renovables. Esta huella carbono se refleja en los desplazamientos de las personas, según los vehículos en los que se desplace, según la fuente que utilice y según la tasa de ocupación.

### Datos de Entrada

Corresponden a los Factores de Emisión de CO<sub>2</sub> eq de los materiales y/o actividades de las fases de construcción, operación y mantenimiento de cada proyecto estudiado, obteniéndose de las bases de datos de huellas de carbono de inventarios certificados e investigaciones hechas por distintas instituciones científicas. Para hallar la dispersión producto de la variabilidad de fuentes de información, se han tomado los valores máximos y mínimos con los cuales se pudo hallar los límites de dicha huella.

### Unidad Funcional

A efectos de comparar el impacto bajo un mismo patrón, se tienen las siguientes Unidades Funcionales, factores que se definieron de la siguiente manera:

$$UF1 = \frac{\text{Emisión de CO}_2 \text{ eq. (g CO}_2\text{)}}{\text{Energía generada (kWh)}}$$

$$UF2 = \frac{\text{Emisión de CO}_2 \text{ eq. (g CO}_2\text{)}}{\text{N}^\circ \text{ pasajeros x Distancia recorrida (pas - km)}}$$

### Metodología de Investigación

La investigación seguida fue cuantitativa descriptiva. Se trabajaron en cuatro tipos de proyectos con características propias en cuanto a dimensiones y potencias instaladas, estos son:

- Parque Fotovoltaico: 20 MW de potencia instalada genera 1577 GWh de energía y vida útil de 30 años.
- Parque Eólico: 6 MW de potencia instalada genera 473 GWh de energía y vida útil de 30 años.
- Minicentral hidroeléctrica: 600 kW de potencia instalada genera 110 GWh de energía y vida útil de 30 años.
- Minicentral térmica: 600 kW de potencia instalada genera 142 GWh de energía y vida útil de 30 años.

Para poder obtener la HC de cada proyecto, se han tenido en cuenta todas las partidas que involucran la construcción de estas, así como la fase de operación y mantenimiento. Seguidamente, con los Factores de Emisión y los metrados de cada partida, se obtienen sus Huellas de Carbono. Finalmente, con una sumatoria simple, la HC total para cada proyecto.

Para conocer la HC que se emite por cada pasajero en una distancia dada, se consideró como vehículo de transporte el auto sedán, la cual tendrá 4 tipos de fuentes de energía, combustión interna, electricidad renovable, electricidad Perú y electricidad fósil. Se apoyó de la HC producida por los proyectos antes mencionados, para este cálculo final.

Los análisis y cálculos de la HC se dieron bajo ciertas restricciones que es preciso indicar:

- Empleo de un auto sedán de 04 pasajeros.
- No se consideran las actividades de fabricación de vehículo.
- No se consideran las actividades de operación del abastecimiento energético del vehículo (ejemplo: gasolinera, electrolinera, etc)

#### BASE DE DATOS

Las variables se cuantifican por contenido energético, que pueden consultarse en diferentes fuentes. Es importante referenciar las fuentes, y en caso de discrepancias o de valores diferentes, anotar ambos valores y justificar la elección (promedio, valor más creíble, promedio ponderado, etc.).

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se han considerado dos escenarios para situar los proyectos estudiados en la presente investigación, una zona con baja vegetación y otra con alta vegetación, en ellos se considerará desbroce y deforestación respectivamente durante la fase de construcción, esto, a fin de conocer el impacto ambiental en dicha fase para cada escenario y tipo de proyecto.

Para poder obtener la cantidad de HC de cada proyecto, se han tenido en cuenta las partidas de mayor incidencia en términos de emisiones que involucran la construcción de la infraestructura y la HC embebida en los materiales. Los proyectos estudiados, tienen partidas similares, estos se podrán ver en los análisis de cada proyecto. Con los Factores de Emisión y los metrados de cada partida, se obtienen las HC de ellas.

En la Tabla I, se muestran los Factores de Emisión (FE) de los insumos considerados para el cálculo de la HC, para algunos insumos se consideran los valores máximos y mínimos de FE, toda vez que se han encontrado más de una fuente de estos valores.

TABLA I  
Factor de Emisión de insumos

Insumos	Und.	FE max	FE min	Fuente
Cemento	Kg CO <sub>2</sub> /kg	0.629	0.511	[14][15]
Acero de Refuerzo	Kg CO <sub>2</sub> /kg	1.950	1.623	[16][17]
Gasolina	Kg CO <sub>2</sub> /gal	9.008	7.900	[18][19]
Diésel	Kg CO <sub>2</sub> /gal	9.879	9.700	[18][19]
Electricidad	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	0.521	0.300	[20][18]
Agregados	Kg CO <sub>2</sub> /kg	0.010		[21]
Cargador Frontal CAT 950	Kg CO <sub>2</sub> /hm	43.11		[21]
Camión 35 t	Kg CO <sub>2</sub> /hm	40.03		[21]
Aerogenerador	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	0.000623		[22]
Turbina Pelton	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	9.446		[23]
Grupo Electrónico	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	1041.431		[24]

Fuente: Elaboración propia

Los proyectos se han evaluado considerando algunas partidas comunes para la ejecución, teniendo 5 partidas de impacto:

- Campamentos: obras auxiliares y preliminares.
- Desbroce/Deforestación: limpieza de terreno en el área requerida para la implantación de los generadores.
- Obras Civiles: Cimentación y Estructuras de Concreto Armado.
- Montaje Electromecánico: Equipos de generación eléctrica.
- Líneas de Transmisión: Líneas de transporte de energía hacia un patio de llaves que enlace a la red de transmisión.

#### Parque Fotovoltaico

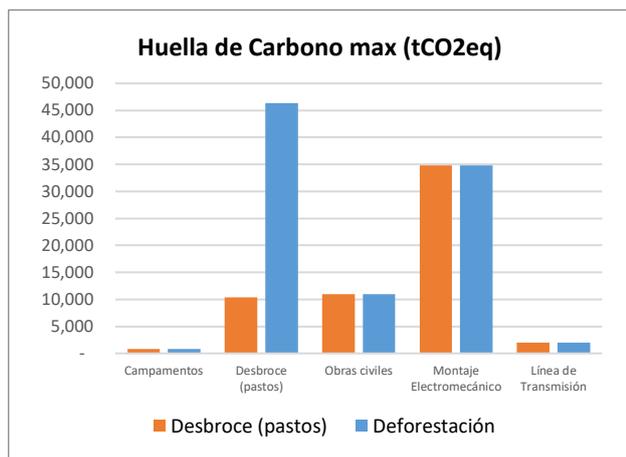
Se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq producidas durante la fase de construcción y Operación y Mantenimiento del Parque Solar. Se obtuvieron valores máximos y mínimos (ver Tablas II y III respectivamente) calculados de acuerdo con los rangos de FE que se tienen (Tabla I).

TABLA II  
Huella de Carbono máxima – Parque Fotovoltaico

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	856	856	572
Desbroce / Deforestación	10,340	46,340	-
Obras civiles	10,972	10,972	5,298
Montaje Electromecánico	34,867	34,867	8,627
Línea de Transmisión	1,981	1,981	225
<b>TOTAL</b>	<b>59,016</b>	<b>95,016</b>	<b>14,497</b>

Nota. Elaboración propia

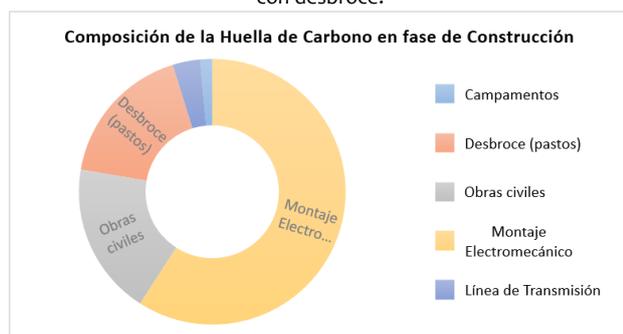
Fig. 1. Representación gráfica de los valores de la Tabla II.



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla II, en el escenario que el Parque Fotovoltaico ha sido construido en un área de baja vegetación que requiera desbroce, se tiene a la Actividad de Montaje Electromecánico como el de mayor impacto en HC, representando el 59% de la HC de este escenario. En esa misma línea, se tienen a la actividad propia de Desbroce y las Obras Civiles, que representan el 18% y 19% de la HC total (Figura 2).

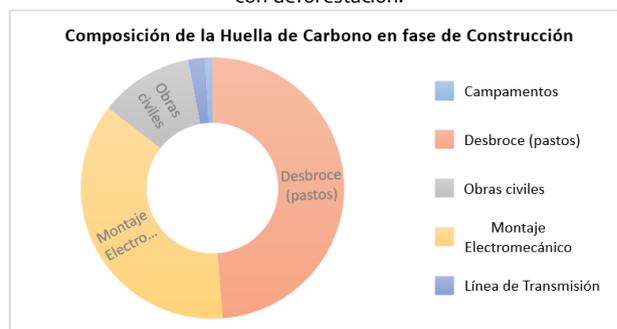
Fig. 2. Composición de HC – Fase de Construcción de Parque solar con desbroce.



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla II, en el escenario que el Parque Fotovoltaico ha sido construido en un área de alta vegetación que requiera deforestación, se tiene a la actividad propia de Deforestación como la de mayor impacto en HC, representando el 49% de la HC de este escenario. Para este caso, la actividad de Montaje Electromecánico representa el 37%, mientras que, las Obras Civiles representan el 12%. (Figura 3).

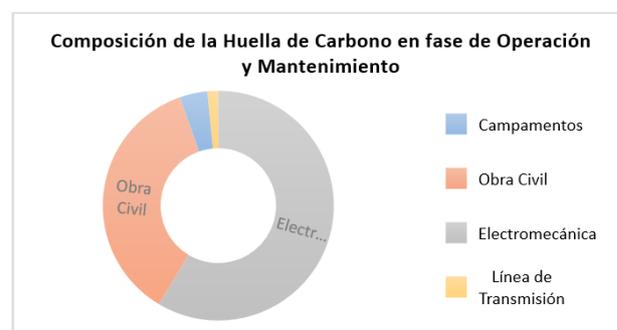
Fig. 3. Composición de HC – Fase de Construcción de Parque solar con deforestación.



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, para la Fase de Operación y Mantenimiento, se tiene al Montaje Electromecánico como el de mayor impacto en HC, representando el 59% de la HC total de esta fase (Figura 4). Este porcentaje está concentrado principalmente en la ejecución del Reemplazo de módulos fotovoltaicos (320 Wp). Por su parte, el mantenimiento de las Obras Civiles representa el 36% de la HC total de esta fase.

Fig. 4. Composición de HC – Operación y Mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

Tabla III  
Huella de Carbono mínima – Parque Fotovoltaico

Resumen	Desbroce t CO2eq.	Deforestación t CO2eq.	Op. y Mant. t CO2eq.
Campamentos	801	801	572
Desbroce / Deforestación	10,340	46,340	-
Obras civiles	8,957	8,957	5,298
Montaje Electromecánico	34,867	34,867	8,627
Línea de Transmisión	1,589	1,589	192
<b>TOTAL</b>	<b>56,553</b>	<b>92,553</b>	<b>14,497</b>

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas II y III, las actividades de Desbroce / Deforestación y Montaje Electromecánico no varían, toda vez que para los insumos o equipos que se requieren para su ejecución, se tiene un solo valor de Factor de Emisión. Sucede lo mismo, para la fase de Operación y Mantenimiento.

La HC de la actividad de Desbroce (pastos) y Deforestación (bosques), están en una relación aproximada de 1:5. El pasto se poda con herramientas manuales y/o equipos con baja HC incorporada, mientras que el bosque, requiere de tala de árboles, donde se utilizan equipos con alta HC incorporada. Para estas actividades no se considera la fase de Operación y Mantenimiento, puesto que son actividades que se dan por única vez porque es el área donde se asientan los proyectos.

Considerando la Unidad Funcional establecida para este estudio, tenemos los siguientes valores de HC para cada escenario (Tabla IV).

Tabla IV

Rango de Huellas de Carbono – Parque Fotovoltaico

HC	Desbroce g CO <sub>2</sub> /kWh	Deforestación g CO <sub>2</sub> /kWh	Op. y Mant. g CO <sub>2</sub> /kWh
Máxima	37.43	60.26	9.19
Mínima	35.87	58.70	9.19

Fuente: Elaboración propia

### Parque Eólico

Se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq producidas durante la fase de construcción y Operación y Mantenimiento del Parque Eólico. Se obtuvieron valores máximos y mínimos (ver Tablas V y VI respectivamente) calculados de acuerdo con los rangos de FE que se tienen (Tabla I).

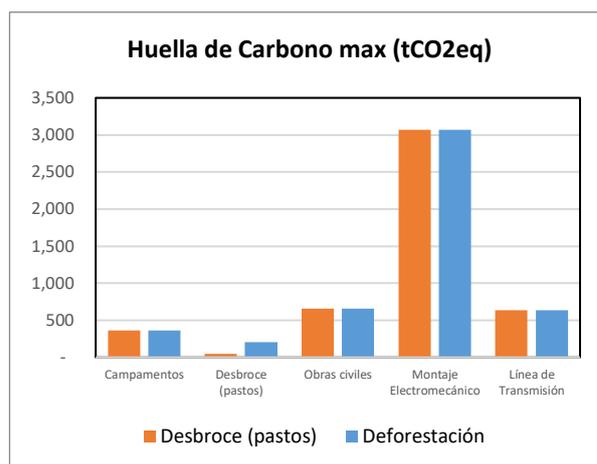
Tabla V

Huella de Carbono máxima – Parque Eólico

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	365	365	259
Desbroce / Deforestación	47	209	-
Obras civiles	660	660	698
Montaje Electromecánico	3,070	3,070	503
Línea de Transmisión	639	639	76
<b>TOTAL</b>	<b>4,781</b>	<b>4,943</b>	<b>1,535</b>

Fuente: Elaboración propia

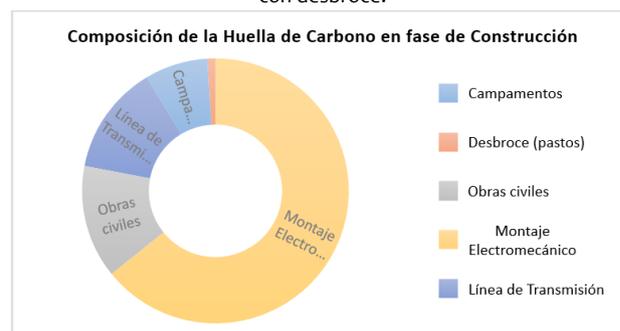
Fig. 5. Representación gráfica de los valores de la Tabla V



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla V, en el escenario que el Parque Eólico ha sido construido en un área de baja vegetación que requiera desbroce, se tiene a la Actividad de Montaje Electromecánico como el de mayor impacto en HC, representando el 64% de la HC de este escenario. En esa misma línea, se tienen a la actividad de Obras Civiles y Líneas de Transmisión, que representan el 14% y 13% de la HC total (Figura 6). La actividad de Desbroce solo representa el 1%, toda vez que, no se requiere de grandes áreas de podados por ser instalaciones puntuales.

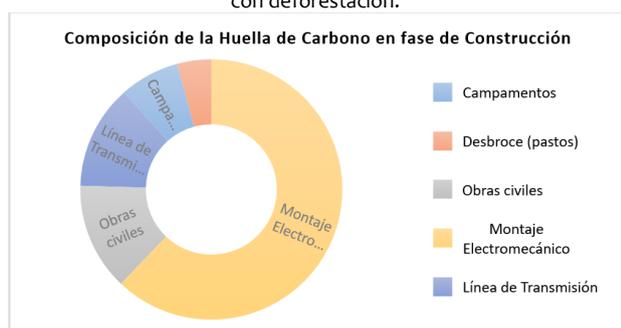
Fig. 6. Composición de HC – Fase de Construcción de Parque eólico con desbroce.



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla V, en el escenario que el Parque Eólico ha sido construido en un área de alta vegetación que requiera deforestación, se tiene lo mismo que el caso anterior, la actividad de Montaje Electromecánico como la de mayor impacto en HC, representando el 62% de la HC de este escenario. Así mismo, las actividades de Obras Civiles y Líneas de Transmisión representan el 13% cada uno (Figura 7).

**Fig. 7.** Composición de HC – Fase de Construcción de Parque eólico con deforestación.



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, para la Fase de Operación y Mantenimiento, se tiene al mantenimiento de las Obras Civiles como el de mayor impacto en HC, representando el 45% de la HC total de esta fase, seguido por el mantenimiento de la Electromecánica con 33% (Figura 8). El mantenimiento de las Obras Civiles está concentrado sobre la conservación de los plataformados y caminos de acceso, mientras que, de la Electromecánica, en la Torre de aerogeneradores, rotor de este y la instalación de transformadores. El mantenimiento del Campamento también resalta con un impacto de 17%, el cual está concentrado en la conservación de almacenes y oficinas. (Figura 8).

**Fig. 8.** Composición de HC – Operación y Mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia

TABLA VI

Huella de Carbono mínima – Parque Eólico

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	338	338	259
Desbroce / Deforestación	47	209	-
Obras civiles	540	540	698
Montaje Electromecánico	3,063	3,063	503
Línea de Transmisión	541	541	68
<b>TOTAL</b>	<b>4,529</b>	<b>4,691</b>	<b>1,527</b>

Fuente: Elaboración propia

La HC de las actividades de Desbroce (pastos) y Deforestación (bosques) son muy bajas en respecto a las otras actividades, esto es principalmente porque no se requiere intervenir la totalidad del área donde se

asentará el proyecto, dado que la instalación de los aerogeneradores es puntual, se puede dejar el resto del área sin poder o talar sin perjudicar el funcionamiento de la planta.

Considerando la Unidad Funcional establecida para este estudio, tenemos los siguientes valores de HC para cada escenario (Tabla VII).

TABLA VII

Rango de Huellas de Carbono – Parque Eólico

HC	Desbroce g CO <sub>2</sub> /kWh	Deforestación g CO <sub>2</sub> /kWh	Op. y Mant. g CO <sub>2</sub> /kWh
Máxima	10.11	10.45	3.25
Mínima	9.57	9.92	3.23

Fuente: Elaboración propia

### Minicentral Hidroeléctrica

Se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq producidas durante la fase de construcción y Operación y Mantenimiento de la Minicentral Hidroeléctrica. Se obtuvieron valores máximos y mínimos (ver Tablas VIII y IX respectivamente) calculados de acuerdo con los rangos de FE que se tienen (Tabla I).

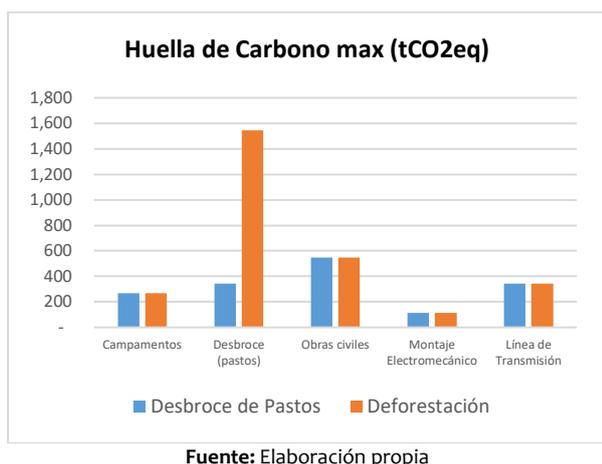
Tabla VIII

Huella de Carbono máxima – Minicentral Hidroeléctrica

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	267	267	249
Desbroce / Deforestación	345	1,545	-
Obras civiles	547	547	314
Montaje Electromecánico	115	115	32
Línea de Transmisión	341	341	35
<b>TOTAL</b>	<b>1,614</b>	<b>2,814</b>	<b>629</b>

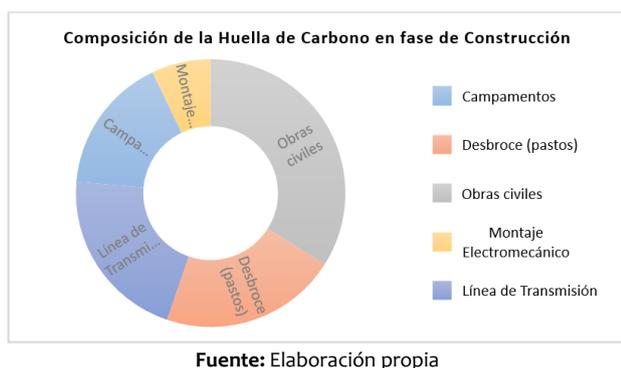
Fuente: Elaboración propia

Fig. 9. Representación gráfica de los valores de la Tabla 8.



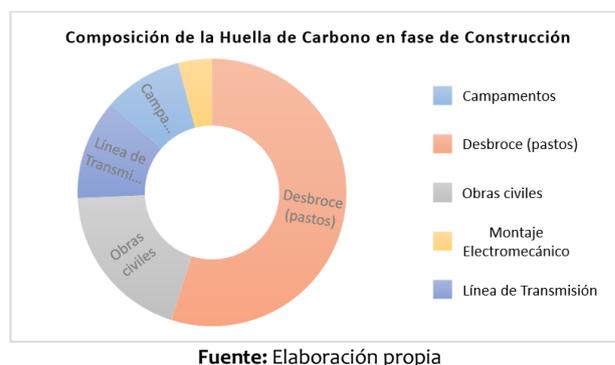
De la Tabla VIII, en el escenario que la Minicentral Hidroeléctrica ha sido construido en un área de baja vegetación que requiera desbroce, se tiene a la Actividad de Obras Civiles como el de mayor impacto en HC, representando el 34% de la HC de este escenario. En esa misma línea, se tienen a la actividad de Desbroce y Líneas de Transmisión, que representan el 21% cada uno de la HC total (Figura 10). La HC de las obras civiles se concentra en la instalación de los conductos forzados (tubería de presión principalmente) y la excavación para el canal de conducción.

Fig. 10. Composición de HC – Fase de Construcción de Minicentral Hidroeléctrica con desbroce.



De la Tabla VIII, en el escenario que la Minicentral Hidroeléctrica ha sido construido en un área de alta vegetación que requiera deforestación, se tiene a la actividad de Deforestación como la de mayor impacto en HC, representando el 55% de la HC de este escenario. Así mismo, las actividades de Obras Civiles y Líneas de Transmisión representan el 19% y 12% respectivamente (Figura 7).

Fig. 11. Composición de HC – Fase de Construcción de Minicentral Hidroeléctrica con deforestación.



Del mismo modo, para la Fase de Operación y Mantenimiento, se tiene al mantenimiento de las Obras Civiles como el de mayor impacto en HC, representando el 50% de la HC total de esta fase, seguido por el mantenimiento del Campamento con 40% (Figura 12). El mantenimiento de las Obras Civiles está concentrado sobre la conservación de la tubería de presión, compuertas y gaviones, mientras que, del Campamento, se centra en la movilización y transporte de equipos. El mantenimiento de los equipos electromecánicos y líneas de Transmisión no está basado en la utilización de equipos o materiales que tengan alta HC, sino a criterios técnicos como criterios de vibraciones, pulsaciones, diagnóstico del transformador, e inspección de puntos calientes, todo ello, posee baja HC incorporada. (Figura 12).

Fig. 12. Composición de HC – Operación y Mantenimiento.

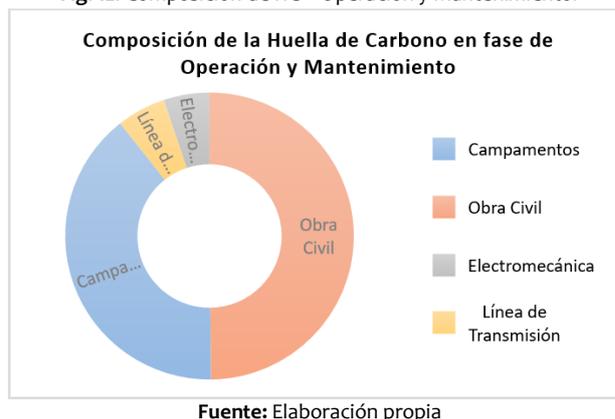


TABLA IX

Huella de Carbono mínima – Minicentral Hidroeléctrica

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	239	239	249
Desbroce / Deforestación	345	1,545	-
Obras civiles	524	524	314
Montaje Electromecánico	114	114	32
Línea de Transmisión	338	338	35
<b>TOTAL</b>	<b>1,559</b>	<b>2,759</b>	<b>629</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla XI

Huella de Carbono máxima – Central Térmica

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	260	260	228
Desbroce / Deforestación	221	989	-
Obras civiles	42	42	23
Montaje Electromecánico	587	587	115,660
Línea de Transmisión	691	691	647
<b>TOTAL</b>	<b>1,800</b>	<b>2,568</b>	<b>115,911</b>

Nota. Fuente: Elaboración propia

De las Tablas VIII y IX, se tiene que la HC del Montaje Electromecánico es baja respecto a las demás actividades para los dos escenarios planteados (Desbroce y Deforestación). Así mismo, al comparar dicha HC con los resultados en los otros proyectos, sigue siendo bajo. He de recordar que se trata de una central de muy baja capacidad, donde la HC del Montaje Electromecánico está concentrada en el Tendido de conductores MT, FO y Tierra, montaje de turbinas y la instalación de transformadores, al ser de bajas dimensiones, posee baja HC.

Considerando la Unidad Funcional establecida para este estudio, tenemos los siguientes valores de HC para cada escenario (Tabla X).

TABLA X

Rango de Huellas de Carbono – Minicentral Hidroeléctrica

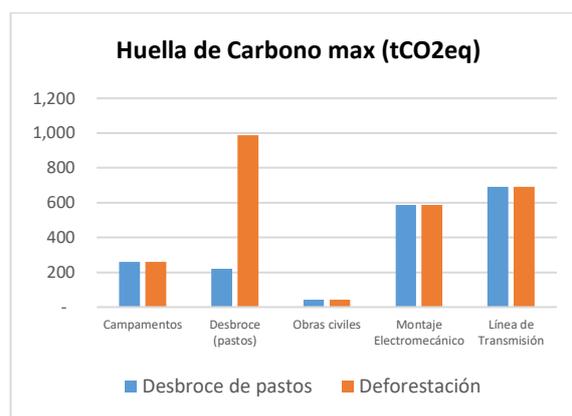
HC	Desbroce g CO <sub>2</sub> /kWh	Deforestación g CO <sub>2</sub> /kWh	Op. y Mant. g CO <sub>2</sub> /kWh
Máxima	14.63	25.50	6.00
Mínima	14.12	24.99	6.00

Nota. Fuente: elaboración propia

### Central Térmica

Se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq producidas durante la fase de construcción y Operación y Mantenimiento de la Central Térmica. Se obtuvieron valores máximos y mínimos (ver Tablas XI y XII respectivamente) calculados de acuerdo con los rangos de FE que se tienen (Tabla I).

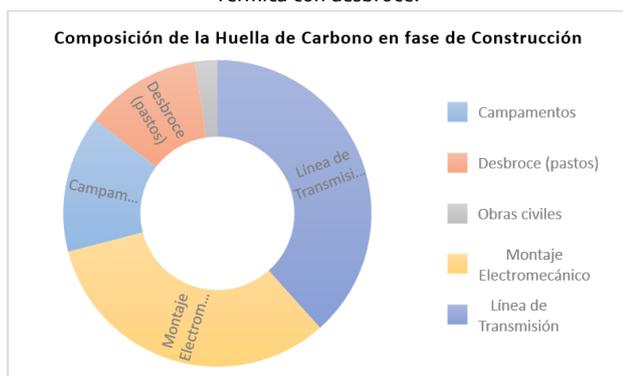
Fig. 13. Representación gráfica de los valores de la Tabla XI



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla XI, en el escenario que la Central Térmica ha sido construido en un área de baja vegetación que requiera desbroce, se tienen a las actividades de Línea de Transmisión y Montaje Electromecánico como los de mayor impacto en HC, representando el 38% y 33% respectivamente de la HC de este escenario. Bajo el mismo concepto, se tienen a las actividades de Campamentos y Desbroce, que representan el 14% y 12% de la HC total (Figura 14). La actividad de Obras Civiles sólo representa el 2%, toda vez que hay poca cantidad de concreto suministrado, el cual es la única actividad civil.

**Fig. 14.** Composición de HC – Fase de Construcción de Central Térmica con desbroce.



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla XI, en el escenario que la Central Térmica ha sido construido en un área de alta vegetación que requiera deforestación, se tiene a la actividad de Deforestación como la de mayor impacto en HC, representando el 38% de la HC de este escenario. Así mismo, las actividades de Líneas de Transmisión y Montaje Electromecánico representan el 27% y 23% respectivamente (Figura 15).

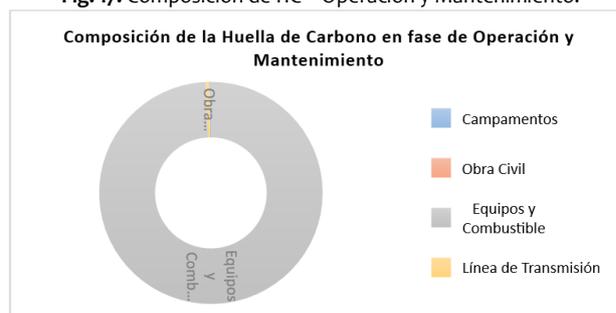
**Fig. 15.** Composición de HC – Fase de Construcción de Central Térmica con deforestación.



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, para la Fase de Operación y Mantenimiento, se tiene al mantenimiento de Equipos como el de mayor impacto en HC, representando el 99% de la HC total de esta fase (Figura 16). Este está concentrado principalmente por el consumo del sistema de combustible y el mantenimiento del Grupo Electrónico 500 kW.

**Fig. 17.** Composición de HC – Operación y Mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia

TABLA XII

Huella de Carbono mínima – Central Térmica

Resumen	Desbroce t CO <sub>2</sub> eq.	Deforestación t CO <sub>2</sub> eq.	Op. y Mant. t CO <sub>2</sub> eq.
Campamentos	232	232	228
Desbroce / Deforestación	221	989	-
Obras civiles	39	39	23
Montaje Electromecánico	587	587	113,574
Línea de Transmisión	688	688	647.
<b>TOTAL</b>	<b>1,766</b>	<b>2,534</b>	<b>113,825</b>

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas XI y XII, se tiene que la HC de las Obras Civiles es baja respecto a las demás actividades para los dos escenarios planteados (Desbroce y Deforestación). Así mismo, al comparar dicha HC con los resultados en los otros proyectos, sigue siendo baja. En las obras civiles para este proyecto, solo se consideran 50 m<sup>3</sup> de concreto, lo cual hace que la HC global para esta actividad sea muy baja.

Considerando la Unidad Funcional establecida para este estudio, tenemos los siguientes valores de HC para cada escenario (Tabla XIII).

Tabla XIII

Rango de Huellas de Carbono – Central Térmica

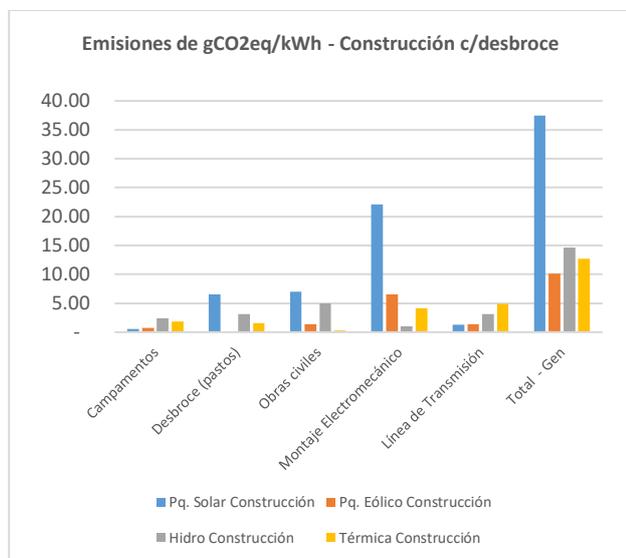
HC	Desbroce g CO <sub>2</sub> /kWh	Deforestación g CO <sub>2</sub> /kWh	Op. y Mant. g CO <sub>2</sub> /kWh
Máxima	12.69	18.10	821.34
Mínima	12.44	17.85	802.08

Fuente: Elaboración propia

**Análisis Global**

Plasmando los resultados obtenidos para las cuatro centrales bajo la unidad funcional establecida, se tuvieron las siguientes figuras comparativos:

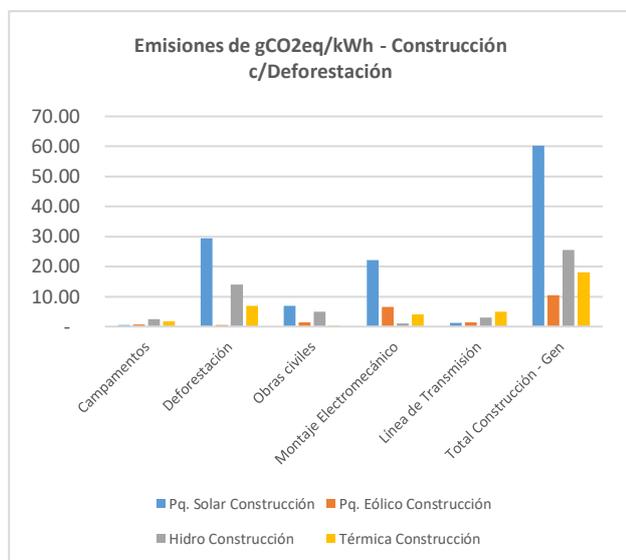
**Fig. 17.** Comparativo de HC por construcción de las centrales c/desbroce



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 17 y para el escenario que se requiera el desbroce para la instalación de una central, se tiene al usar parque fotovoltaico como el de mayor impacto en HC, lo cual está concentrado en las actividades de montaje electromecánico.

**Fig. 18.** Comparativo de HC por construcción de las centrales c/deforestación



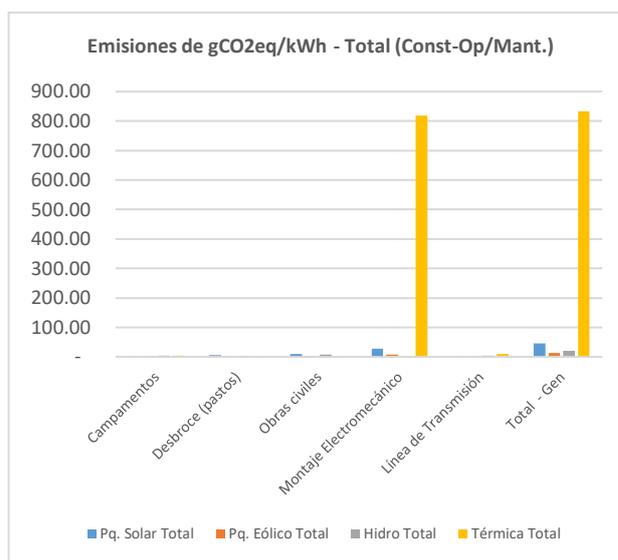
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 18 y para el escenario que se requiera de deforestación para la instalación de una central, se tiene al usar parque fotovoltaico como el de mayor impacto en HC, lo cual está concentrado

principalmente en las actividades de deforestación, además de las actividades de montaje electromecánico.

Luego del análisis de la HC de la fase de construcción y de la fase de operación y mantenimiento, se consolida en una HC total que incluye ambas fases, donde se puede ver el mayor impacto de las emisiones en un periodo de vida útil de muchos años, es decir, emisiones en tiempo muy prolongado.

**Fig. 19.** Comparativo de HC por construcción y Op./Mant. de las centrales.



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 19, considerando tanto las fases de construcción y operación/mantenimiento, se tiene a la Central Térmica como el de mayor impacto en HC, lo cual está concentrado en la operación y mantenimiento de los equipos electromecánicos, para los cuales se requieren de grandes cantidades de combustible, factor que eleva las emisiones de CO<sub>2</sub> eq por la quema de dichos combustibles.

La HC de la Central Térmica se incrementará en el tiempo conforme se utilice mayor combustible para la generación eléctrica, en tanto que la HC de las Centrales de Generación Renovable solo aportan emisiones en la fase de construcción, y durante la fase de operación, la HC se mitiga conforme pasa el tiempo.

## Electromovilidad

Se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq producidas durante el transporte de pasajeros en un auto sedán. Consideramos dos escenarios:

- El auto sedán viaja con un solo pasajero.
- El auto sedán viaja con cuatro pasajeros.

Para ambos escenarios se consideraron cuatro fuentes de energía con rendimientos específicos para el auto sedán (Tabla XIV).

TABLA XIV

Fuentes de energía y rendimientos para auto sedán

Motor	Fuente o Proyecto en estudio	Consumo (km / gal ó km/kWh)	FE (g CO <sub>2</sub> eq / gal ó kWh)
Combustión interna	Gasolina	50	[Tabla I]
Electricidad - Renovable	Parque Solar	5.9	[Tabla IV]
Electricidad - Perú	Electricidad	5.9	[Tabla I]
Electricidad - Fósil	Central térmica	5.9	[Tabla XIII]

Fuente: Elaboración propia

La distancia recorrida considerada para el estudio fue de 20 km, donde se consume cierta cantidad de combustible o energía eléctrica de acuerdo con su fuente de suministro. El auto viaja con uno y cuatro pasajeros, durante las cuales emiten diferentes cantidades de CO<sub>2</sub> eq, valores que se buscó obtener (Tablas XV y XVI).

TABLA XV

Auto sedán con 1 pasajero

Motor	Pas-km	Consumo (gal ó kWh)	HC Kg CO <sub>2</sub> eq	UF (g CO <sub>2</sub> eq / pas-km)
Combustión interna	20	0.4	3.60	180
Electricidad - Renovable	20	3.4	0.24	12
Electricidad - Perú	20	3.4	1.77	89
Electricidad - Fósil	20	3.4	2.79	140

Fuente: Elaboración propia

TABLA XVI

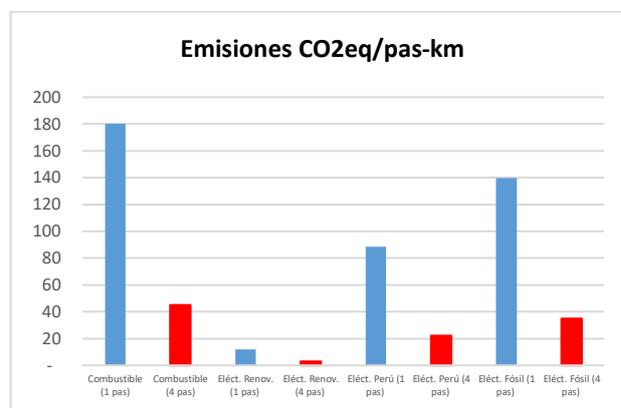
Auto sedán con 4 pasajeros

Motor	Pas-km	Consumo (gal ó kWh)	HC Kg CO <sub>2</sub> eq	UF (g CO <sub>2</sub> eq / pas-km)
Combustión interna	80	0.4	3.60	45
Electricidad - Renovable	80	3.4	0.24	3
Electricidad - Perú	80	3.4	1.77	22
Electricidad - Fósil	80	3.4	2.79	35

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la Tabla XV y XVI se muestran en la Figura 20 mediante los colores azul y rojo respectivamente.

Fig. 20. Representación gráfica de las Tablas XV y XVI



Fuente: Elaboración propia

La mayor HC de la Electromovilidad es para la movilidad del auto sedán con un pasajero, de ellos, el de mayor impacto es del vehículo alimentado por gasolina, por su parte, el de menor impacto, el vehículo alimentado de electricidad renovable producida del Parque Solar. no se considera la HC por la construcción del vehículo.

La tasa de ocupación y la HC de la Electromovilidad tienen una relación inversamente proporcional. De la Figura 20, al incrementar la ocupación del 25% al 100%, la Huella de Carbono se reduce en la misma proporción.

Un vehículo a combustible será más sostenible que el vehículo eléctrico, siempre que se transporte a más del 50% de su ocupación. El vehículo eléctrico con un ocupante emite el doble de emisiones CO<sub>2</sub> eq. que el vehículo a combustible con su máxima ocupación. Sucede lo mismo al comparar el vehículo a combustible con el vehículo a electricidad fósil. Este último con un ocupante emite el triple de emisiones CO<sub>2</sub> eq. que el vehículo a combustible con su máxima ocupación.

El vehículo a electricidad renovable reduce las emisiones de carbono en 90%, mientras que, el vehículo a electricidad fósil reduce tales emisiones en 25%. Ambos casos, respecto a los vehículos a combustible y con la misma capacidad de ocupantes.

## CONCLUSIONES

- La HC por la construcción del Parque Solar de 20 MW de potencia instalada en una zona de baja y alta vegetación es de 59,016 y 95,016 t CO<sub>2</sub> eq, mientras que, por el proceso de operación y mantenimiento es de 14,497 t CO<sub>2</sub> eq. Esta planta genera 1577 GWh de energía, lo que equivale a decir que su impacto ambiental es de 46.62 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en un área con pasto y 69.45 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en el bosque.
- La HC por la construcción del Parque Eólico de 6 MW de potencia instalada en una zona de baja y alta vegetación es de 4,781 y 4,943 t CO<sub>2</sub> eq, mientras que, por el proceso de operación y mantenimiento es de 1,535 t CO<sub>2</sub> eq. Esta planta genera 473 GWh de energía, lo que equivale a decir que su impacto ambiental es de 13.35 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en un área con pasto y 13.70 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en el bosque.
- La HC por la construcción de la Minicentral Hidroeléctrica de 600 kW de potencia instalada en una zona de baja y alta vegetación es de 1,614 y 2,814 t CO<sub>2</sub> eq, mientras que, por el proceso de operación y mantenimiento es de 629 t CO<sub>2</sub> eq. Esta minicentral genera 110 GWh de energía, lo que equivale a decir que su impacto ambiental es de 20.33 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en un área con pasto y 31.20 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en el bosque.
- La HC por la construcción la Minicentral Térmica de 600 kW de potencia instalada en una zona de baja y alta vegetación es de 1,800 y 2,568 t CO<sub>2</sub> eq, mientras que, por el proceso de operación y mantenimiento es de 115,911 t CO<sub>2</sub> eq. Esta minicentral genera 142 GWh de energía, lo que equivale a decir que su impacto ambiental es de 834.02 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en un área con pasto y 839.44 g CO<sub>2</sub> eq/kWh al ser instalada en el bosque.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> eq de los vehículos de transporte de personas, están en relación inversamente proporcional a la cantidad de ocupantes. Esto se obtuvo del presente estudio considerando como vehículo modelo, un auto sedán.
- El auto sedán con un ocupante que se moviliza alimentado con gasolina emite 180 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km, mientras que, si se moviliza a toda su capacidad (cuatro ocupantes), su Factor de Emisión se reduce a 45 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km.
- Si cambiamos la fuente de energía del vehículo en movimiento a energía eléctrica renovable producido por el Parque Solar, la emisión sería 12 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km si se moviliza con un ocupante, mientras que, si lo hace con cuatro ocupantes, la emisión se reduce a 3 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km.
- El mismo auto sedán impulsado con la energía eléctrica que circula en el país que se moviliza con un ocupante emite 89 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km, mientras que, si lo hace con cuatro ocupantes, se reduce a 22 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km.
- En el escenario que el vehículo sea impulsado mediante la electricidad fósil producido por la Minicentral Térmica y se movilice con un ocupante, logra emitir 140 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km, así mismo, si se moviliza con sus cuatro ocupantes, la emisión se reduce a 35 g CO<sub>2</sub> eq/pas-km.
- Lograremos un transporte sostenible cuando la fuente de energía que impulsa el movimiento de los vehículos sea energía eléctrica renovable o térmica. Como indican los resultados de la presente investigación, bajo condición de electromovilidad con un auto sedán, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> eq con la energía eléctrica renovable será alrededor del 93%, mientras que, con la energía eléctrica térmica será alrededor del 22%, en ambos casos, si lo comparamos respecto a la fuente actual, la gasolina. Sin embargo, el uso de la energía eléctrica renovable hará del transporte más sostenible con la reducción indicada del 93%, para el caso analizado en el presente artículo.
- La energía eléctrica es una excelente alternativa para impulsar el movimiento de los vehículos, dado que, aun considerando la energía eléctrica que circula en el país, sigue siendo sostenible respecto a la gasolina, porque se logra reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> eq. en un 50%, tal y como lo indican los resultados obtenidos bajo ciertas restricciones.
- Se logrará reducir aún más las emisiones de CO<sub>2</sub> eq/pas-km al movilizar el vehículo con más ocupantes, ya que, se logra reducir la cantidad de vehículos en circulación.

## RECOMENDACIONES

- Considerar la energía eléctrica como fuente de energía alternativa para impulsar el movimiento de los vehículos, además de ser más económicos, resultan ser sostenibles. Poner mayor atención a la energía eléctrica renovable.
- Impulsar la descarbonización de la matriz energética del Perú a través de políticas públicas e incentivar el uso de vehículos eléctricos, esto, con el fin de reducir la HC del transporte del país.
- En un estudio posterior, hacer el estudio para los vehículos de transporte de carga con fuentes de energía alternativas buscando que sean sostenibles económica y ambientalmente.

## REFERENCIAS

- [1] K. Heising, «Movilidad urbana amigable con el medio ambiente en Lima y Callao», *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*, Lima, pp. 1-2, nov 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.giz.de/en/worldwide/67348.html>
- [2] J. Tamayo, J. Salvador, A. Vásquez, y C. Vilches, «La Industria de la Electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país», Osinergmin, Lima, Perú, pp. 168-169, 2016. [En línea]. Disponible: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf)
- [3] M. Daugy, «Key Electricity Trends 2020», IEA, abr. 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.iea.org/articles/key-electricity-trends-2020>
- [4] M. Madrigal, «Electromovilidad: transporte más limpio, seguro y eficiente», BID Mejorando vidas, jun. 2019. [En línea]. Disponible: <https://blogs.iadb.org/energia/es/electromovilidad-transporte-mas-limpio-seguro-y-eficiente/#comments>
- [5] Ministerio del Ambiente, «Perú apuesta por la electromovilidad para hacer frente al cambio climático», MINAM, set. 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/19402-peru-apuesta-por-la-electromovilidad-para-hacer-frente-al-cambio-climatico>
- [6] E. Roldan, M. Neubauer, y C. Oyarzo, «Medición y análisis de la Huella de Carbono y consumo de Energía Incorporada de los materiales de construcción de la primera etapa del Cuartel de Bomberos de la Octava Compañía de Coronel», en Simposio de Habilitación Profesional, pp. 4-8, ago. 2022. [En línea]. Disponible: <https://tesis.ucsc.cl/handle/25022009/3747>
- [7] Gerencia de Estudios Económicos y Estadística, «Informe del Sector Automotor Octubre 2024», oct. 2024. [En línea]. Disponible: <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/octubre-2024/Informe-Octubre-2024.pdf>
- [8] M. Mendoza, «Incorporar vehículos eléctricos en el transporte urbano sí es viable» – Walter Córdova, ATU», eBIZ NOTICIAS, feb. 2024. [En línea]. Disponible: <https://ebiz.pe/noticias/incorporar-vehiculos-electricos-en-el-transporte-urbano-si-es-viable-walter-cordova-atu/>
- [9] A. Valdivielso, «¿Qué es y cómo funciona una central hidroeléctrica?», IAGUA, sep. 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-y-como-funciona-central-hidroelectrica>
- [10] Redacción Cadena 3, «La Universidad de La Plata proyecta parques solares para autoabastecerse», CADENA 3, mar. 2023. [En línea]. Disponible: [https://www.cadena3.com/noticia/radioinforme-3/la-universidad-de-la-plata-proyecta-parques-solares-para-autoabastecerse\\_352111](https://www.cadena3.com/noticia/radioinforme-3/la-universidad-de-la-plata-proyecta-parques-solares-para-autoabastecerse_352111)
- [11] Enel Green Power. «Parque eólico». [En línea]. Disponible: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/parque-eolico>
- [12] J. Moreno, «Qué es desbroce de terreno y cuándo es necesario», Hogar Blogs Mapfre. [En línea]. Disponible: <https://www.hogar.mapfre.es/jardineria/jardines/desbroce-terreno/>
- [13] J. Ramírez, «Impacto causado por la deforestación del ecosistema bosque a consecuencia de la siembra de cacao (Theobroma cacao L.) en la provincial de Padre Abad – Región Ucayali», Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali, Perú, 2018. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3878>
- [14] Asociación UNACEM, «Reporte de Sostenibilidad 2019», UNACEM, Lima, 2019. [En línea]. Disponible: <https://unacem.pe/wp-content/uploads/ri/reporte-sostenibilidad-2019-esp.pdf>
- [15] A. León y V. Guillén, «Energía contenida y emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador», *Ambiente Construido*, vol. 20, n. 3, pp. 611-625, sep. 2020, doi: 10.1590/s1678-86212020000300448
- [16] H. Michell, «Perfil ambiental del acero», *Eco Diseño*, jun. 2012. [En línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/99666214/Perfil-Ambiental-Del-Acero>
- [17] A. Freire, M. Marrero, y J. Muñoz, «Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija, España», *Hábitat Sustentable*, vol. 6, no. 1, pp. 6-17, jun. 2016. [En línea]. Disponible: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2316>
- [18] Oficina Catalana del Cambio Climático, «Guía práctica para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero», mar. 2013. [En línea]. Disponible: [https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/files/2013/07/Guia-practica-calcul-emisiones\\_rev\\_ES.pdf](https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/files/2013/07/Guia-practica-calcul-emisiones_rev_ES.pdf)
- [19] Ministerio de Energía y Minas, *Uso eficiente de la energía, Guía metodológica para docentes*, MINEM, Lima, 2020.
- [20] E. Saavedra, «Huella de carbono de emisiones de GEI por uso del sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú», *Tecnia*, vol. 30, n. 1, pp. 11-13, may. 2020, doi: 10.21754/tecnica.v30i1.827

[21] National Pollutant Inventory, «Australian Government – Emission estimation technique manual for combustion engines», jun. 2008. [En línea]. Disponible: [https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/combustion-engines\\_1.pdf](https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/combustion-engines_1.pdf)

[22] P. Cortes. «Análisis comparativo de la Huella de Carbono de Un Parque Eólico en Tenerife- España», Tesis de Maestría, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal, sep 2019. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10400.8/4619>

[23] C. Beltrán, M. Guevara, G. Camargo, y C. Arias, «Emisiones de CO<sub>2</sub> de una turbina Pelton en laboratorio para condiciones de caudal entre 0.1 l/s y 0.2 l/s», *Ingenierías USBMed*, vol. 12, no. 1, pp. 45-47, oct. 2022, doi: 10.21500/20275846.4789

[24] M. García, «Análisis de la Huella de Carbono de una industria de concreto y agregados en sus tres alcances», Tesis de Bachiller, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2016. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3119>



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY 4.0. Permisos lejos de este alcance pueden ser consultados a través del correo [tecnia@uni.edu.pe](mailto:tecnia@uni.edu.pe)