



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA INTRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS**

**ELÉCTRICOS EN HONDURAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN ENERGÍA**

**PRESENTADO POR:**

**21741126 RODOLFO ENRIQUE FAASCH HERRERA**

**21641089 BRYAN ALTAMIRANO WRIGHTS**

**ASESOR: PHD. HÉCTOR VILLATORO**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA; JULIO, 2021**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación va dedicado con todo mi corazón a mi familia y seres queridos, quienes me apoyaron siempre al máximo y me guiaron en buena fe.

-Rodolfo Faasch

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de todo corazón a Dios por haberme dado la oportunidad de tener estudios privilegiados y poder culminarlos con éxito.

Agradezco de todo corazón a los miembros de mi familia por haberme apoyado en mis decisiones desde el inicio, por todo el amor incondicional que me otorgaron y por estar en los buenos y malos momentos, ya que gracias a todo el apoyo incondicional se llegó a donde se está ahora.

Agradezco a mi novia por todo el apoyo incondicional, las palabras, los ánimos cuando más los ocupaba, por estar siempre para mí y por siempre desearme éxito en el camino.

Agradezco a cada uno de mis buenos amigos Miguel Mejía, David Bardales, Bryan Wrights, Andrea Joan Turcios, Andrea Andino y Genesis Rivera quienes me brindaron su apoyo durante todo el tiempo en el que realizo el proyecto.

-Rodolfo Faasch

Agradecemos a los catedráticos que se encargaron de formarnos en profesionales y nos compartieron cada gota posible de conocimiento para realizar este proyecto de investigación. Agradecemos especialmente al Ing. Franklin Martínez, Ing. Alicia Reyes, Ing. Claudia Paz, Ing. Vielka Barahona, Ing. Juan Ramon Bustamante, Ing. Ostin Solís y al Ph.D. Héctor Villatoro, quienes derramaron conocimientos y se enfocaron en que aprendiéramos todo lo esencial para nuestra formación laboral.

-Bryan Wrights y Rodolfo Faasch

## RESUMEN EJECUTIVO

La implementación de un sector de transporte colectivo completamente eléctrico en Honduras será una nueva medida para la reducción las toneladas de CO<sub>2</sub> que el país emite. De tal manera, es importante conocer el impacto tanto económico como ambiental que podrían traer los vehículos eléctricos en el sector transporte colectivo. Esta investigación logra lo planteado anteriormente. Se utilizaron datos de vehículos registrados en Honduras y el consumo de energía por tipo de transporte. Estos datos fueron utilizados para realizar una simulación con el software LEAP (Low Emissions Analysis Platform) el cual es una herramienta para realizar un seguimiento en el consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> por lo que con el uso de este software se determinarán las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> que podrían dejar de ser emitidas y la energía que dejará de ser consumida para el año 2050 correspondiente al sector transporte colectivo, adicionalmente se realizó un mapa en el que estarían distribuidos centros de carga para los vehículos eléctricos en Honduras y se realizó un sistema fotovoltaico con banco de baterías que tenga la dimensión para poder cargar un vehículo eléctrico que recorre 22,531 km al año. Los resultados obtenidos demuestran que si se implementara un sector de transporte colectivo completamente eléctrico para el año 2050 Honduras habría dejado de emitir miles de toneladas métricas equivalentes de CO<sub>2</sub> y se habrían dejado de consumir una gran cantidad de energía proveniente del sector transporte colectivo. Por otro lado, se determinó que dentro de las siete principales carreteras en Honduras se distribuirían 18 centros de carga. Adicionalmente se determinó que el costo de un sistema solar fotovoltaico otorgaba valores considerados no factibles. Esta investigación tiene el propósito de que el lector conozca una de las oportunidades con mayor potencial para reducir las emisiones de dióxido de carbono que tiene Honduras con la implementación de vehículos eléctricos.

**Palabras Clave:** dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sector de transporte colectivo, centros de carga, sistema solar fotovoltaico

## **ABSTRACT**

The implementation of an all-electric public transport sector in Honduras will be a new measure to reduce the tons of CO<sub>2</sub> emitted by the country. Therefore, it is important to know the economic and environmental impact that electric vehicles could bring in the public transport sector. This research achieves the aforementioned. Data on vehicles registered in Honduras and energy consumption by type of transport were used. These data were used to perform a simulation with the LEAP (Low Emissions Analysis Platform) software, which is a tool to track energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, so with the use of this software the equivalent tons of CO<sub>2</sub> that could stop being emitted and the energy that will stop being consumed by the year 2050 corresponding to the public transport sector will be determined. Additionally, a map was made in which charging centers for electric vehicles would be distributed in Honduras and a photovoltaic system with a battery bank was made with the dimension to charge an electric vehicle that travels 22,531 km per year. The results obtained show that if a completely electric public transport sector were implemented by 2050, Honduras would have stopped emitting thousands of metric tons of CO<sub>2</sub> equivalent and would have stopped consuming a large amount of energy from the public transport sector. On the other hand, it was determined that 18 freight centers would be distributed within the seven main highways in Honduras. Additionally, it was determined that the cost of a solar photovoltaic system was not considered feasible. The purpose of this research is to inform the reader about one of the opportunities with the greatest potential for reducing carbon dioxide emissions in Honduras with the implementation of electric vehicles.

**Key words:** carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), public transportation sector, charging centers, solar photovoltaic system.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	4
2.1.	Precedentes del Problema .....	4
2.2.	Definición del Problema.....	6
2.3.	Justificación.....	9
2.4.	Preguntas de Investigación.....	10
2.5.	Objetivos.....	11
2.5.1.	Objetivo General.....	11
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	11
III.	Marco Teórico.....	14
3.1.	Vehículos Eléctricos.....	14
3.1.1.	Hechos Históricos de los Vehículos Eléctricos.....	15
3.1.2.	Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial.....	16
3.1.3.	Tipos de Vehículos Eléctricos.....	19
3.1.4.	Generaciones de vehículos eléctricos.....	20
3.1.5.	Centros de Carga.....	21
3.2.	Emisiones de CO <sub>2</sub> a Nivel Mundial.....	22
3.2.1.	Emisiones de CO <sub>2</sub> en Honduras .....	24
3.2.2.	Emisiones de CO <sub>2</sub> en el Sector Transporte de Honduras.....	25
3.3.	Consumo de KBEP en el Sector Transporte de Honduras.....	25
3.4.	RED VIAL DE HONDURAS.....	26
IV.	Metodología.....	29

4.1.	Enfoque .....	29
4.2.	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	30
4.2.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	30
4.2.2.	VARIABLES DEPENDIENTES .....	33
4.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS .....	33
4.3.1.	LEAP .....	34
4.3.2.	ARCGIS.....	34
4.3.3.	EXCEL.....	34
4.3.4.	HELIOSCOPE.....	34
4.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	34
4.5.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	34
4.5.1.	Recopilación de datos para leap.....	34
4.5.2.	Fuentes Primarias.....	35
4.5.3.	Procedimiento de leap .....	35
4.5.4.	Recopilación de datos para el análisis económico .....	40
4.5.5.	Fuentes Primarias.....	40
4.5.6.	Procedimiento para análisis económico.....	41
4.5.7.	Recopilación de datos para el modelado del mapa con los centros de carga .....	43
4.5.8.	Fuentes Primarias.....	43
4.5.9.	Procedimiento para el modelado del mapa con los centros de carga .....	43
4.5.10.	Recopilación de datos para el diseño del sistema solar fotovoltaico.....	44
4.6.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	45
V.	Resultados y Análisis.....	46

5.1.	Análisis Ambiental y Económico en LEAP.....	46
5.2.	Análisis Económico del Vehículo Eléctrico .....	51
5.3.	Modelado del mapa con los centros de carga.....	58
5.4.	Análisis técnico de sistema solar fotovoltaico conectado a red .....	61
5.5.	Análisis financiero.....	67
5.6.	Sistema aislado con baterías .....	70
5.7.	Limitaciones .....	73
VI.	Conclusiones .....	74
VII.	Recomendaciones.....	77
VIII.	Bibliografía.....	78
IX.	Anexos .....	82
9.1.	System power: 2800 Wp .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
X.	<i>PVsyst TRIAL</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
XI.	<i>PVsyst TRIAL</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
XII.	<i>PVsyst TRIAL</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Índice de Cobertura Eléctrica por regiones de desarrollo en Honduras.....	6
Tabla 2: Precio del galón de Gasolina 02-agosto-2021.....	7
Tabla 3: Precios de combustibles en Honduras del 02 de julio al 08 de agosto de 2021.....	7
Tabla 4: Productores de vehículos eléctricos a nivel mundial 2018.....	18
Tabla 5: Definición de Variables Independientes.....	31
Tabla 6: Cantidad de Vehículos por Año desde 2006-2020 con su tasa de crecimiento .....	47
Tabla 7: Costo Total de los vehículos convencionales evaluados.....	52
Tabla 8: Costo Total de los vehículos eléctricos evaluados .....	52
Tabla 9: Autonomía de los vehículos convencionales en zonas urbanas .....	53
Tabla 10: Autonomía de los vehículos eléctricos en zonas urbanas.....	53
Tabla 11: Precio de la gasolina en Honduras, 9 de agosto 2021 .....	54
Tabla 12: Tarifa Eléctrica Vigente del mes de julio 2021.....	54
Tabla 13: Cantidad de llenados del tanque de los vehículos convencionales al año.....	55
Tabla 14: Cantidad de recargas de las baterías de los vehículos electricos al año.....	55
Tabla 15: Costo Anual de Combustible de cada uno de los vehículos convencionales.....	55
Tabla 16: Costo Anual de Combustible de cada uno de los vehículos eléctricos.....	56
Tabla 17: Costo Promedio Anual de Combustible de un Vehículo Convencional, Costo Promedio Anual de Combustible de un Vehículo Eléctrico y ahorro con el uso de un Vehículo Eléctrico ....	56
Tabla 18: Costo de cada vehículo convencional al final de su vida útil.....	57
Tabla 19: Costo de cada vehículo eléctrico al final de su vida útil .....	57
Tabla 20: Ahorro al usar un vehículo eléctrico al finalizar la vida útil .....	57
Tabla 21: Cálculo de número mínimo de centros de carga por carretera.....	58

Tabla 22: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Mínimo Absoluto.....	63
Tabla 23: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Mínimo Recomendado.....	64
Tabla 24: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Máximo Absoluto .....	64
Tabla 25: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Máximo Recomendado De Cadenas.....	65
Tabla 26: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Máximo Recomendado De Cadenas.....	66
Tabla 27: Datos Generales del Sistema Fotovoltaico.....	67
Tabla 28: Presupuesto de la Instalación Fotovoltaica .....	68
Tabla 29: Parámetros de entrada de la Instalación Fotovoltaica .....	69
Tabla 30: Parámetros de Salida de la Instalación Fotovoltaica.....	70
Tabla 31: Presupuesto Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red..	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 32: Parámetros de entrada .....	72
Tabla 33: Parámetros de salida .....	73

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución de Emisiones de CO <sub>2</sub> por sector de consumo en Honduras 2019.....	5
Ilustración 2. Precio del Combustible 2021.....	8
Ilustración 3. Vehículos Registrados en Honduras.....	8
Ilustración 4. Emisiones de CO <sub>2</sub> en Honduras.....	9
Ilustración 5. Evolución de las ventas y stock globales de EVs.....	17
Ilustración 6. Tipología de vehículos eléctricos.....	19
Ilustración 7. Emisiones de CO <sub>2</sub> Mundiales 2019.....	23
Ilustración 8. Emisiones de gases de efecto invernadero según sector de consumo energético en Honduras 2019.....	24
Ilustración 9. Emisiones de CO <sub>2</sub> en el año 2019 según sector de consumo energético en Honduras.....	25
Ilustración 10. Energía consumida en el sector transporte en Honduras 2019.....	26
Ilustración 11. Mapa de Carreteras donde se ubicarán los Centros de Carga en Honduras.....	28
Ilustración 12. Esquema metodológico de la Investigación.....	29
Ilustración 13. Mapa Conceptual de Variables Independientes.....	30
Ilustración 14. Mapa Conceptual de Variables Dependientes.....	33
Ilustración 15. Cantidad de Vehículos Registrados en Honduras al Año 2019.....	35
Ilustración 16. Tipos de Vehículos Registrados Utilizados para la Configuración de LEAP.....	36
Ilustración 17. Modelos de vehículos eléctricos más vendidos a nivel mundial 2020 (Ventas en miles).....	42
Ilustración 18. Irradiación Directa Normal de Honduras.....	44
Ilustración 19. Millones de Vehículos Registrados por Año en Honduras.....	46
Ilustración 20. Cantidad de Vehículos desde 2006-2020 en Honduras.....	48

Ilustración 21. Cantidad de Vehículos Registrados por Año de 2006 hasta 2050.....	49
Ilustración 22. Porcentaje de Tipo de Transporte.....	49
Ilustración 23. Cantidad de kBep consumida por tipo de transporte.....	50
Ilustración 24. Cantidad de Kbeper por tipo de transporte colectivo.....	51
Ilustración 25. Mapa de Carreteras donde se ubicarán los Centros de Carga en Honduras .....	59
Ilustración 26. Mapa de Centros de Carga en Honduras.....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Número de Módulos Fotovoltaicos .....	62
Ecuación 2. Número Mínimo Absoluto de Módulos FV .....	63
Ecuación 3. Número Mínimo Recomendado de Módulos FV.....	63
Ecuación 4. Número Máximo Absoluto de Módulos Fotovoltaicos .....	64
Ecuación 5. Número Máximo Recomendado de Módulos Fotovoltaicos .....	65
Ecuación 6. Número Recomendado de Cadenas en Paralelo .....	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Porcentaje por Tipo de Vehículo en Honduras.....	82
Anexo 2 Transporte Colectivo Diesel Interurbanos.....	82
Anexo 3 Transporte Colectivo Diesel Urbanos .....	83
Anexo 4 Transporte Colectivo Microbuses Diesel .....	83
Anexo 5 Transporte Colectivo Taxis Gasolina .....	84
Anexo 6 Transporte Colectivo Taxis Diesel .....	84
Anexo 7 Carga Pesada Diesel .....	85
Anexo 8 Vehículos Semipesados De Carga Diesel .....	85
Anexo 9 Vehículos Livianos de Carga Diesel .....	86
Anexo 10 Automóviles Particulares Diesel .....	86
Anexo 11 Automóviles Particulares Gasolina .....	87
Anexo 12 Motocicletas.....	87
Anexo 12 PVsyst Simulation Report.....	88
Anexo 13 FRONIUS GALVO 2.5-1 .....	10
Anexo 14 TSM-400 DE15(III).....	14

## LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

AC: Corriente Alterna

AIE: Agencia Internacional de Energía

BEN: Balance Energético Nacional

BEV: Battery Electric Vehicle; Vehículo Eléctrico de Batería

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

CREE: Comisión Reguladora de Energía Eléctrica

DC: Corriente Directa

Electrolineras: Estaciones de Servicio Eléctricas

EV: Electric Vehicle; Vehículo Eléctrico

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GLP: Gas Licuado de Petróleo

HEV: Hybrid Electric Vehicle; Vehículo híbrido

INE: Instituto Nacional de Estadística Honduras

KBEP: Kilo Barril Equivalente de Petróleo

LCOE: Coste Nivelado de la Energía

PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle; Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable

ROI: Retorno Sobre la Inversión

SUV: Sport Utility Vehicle; Vehículo Utilitario Deportivo

TIR: Tasa Interna de Retorno

VAN: Valor Actual Neto

WEO: World Energy Outlook

## I. INTRODUCCIÓN

Según el Global EV Outlook 2021, los vehículos eléctricos juegan un rol indispensable en la meta de llegar a cero emisiones netas a nivel mundial para el año 2050 (IEA, 2021). Un nuevo reporte de la IEA (2021) reporta que si los gobiernos implementan políticas energéticas para descarbonizar sus sectores de transporte es posible que el mercado de los vehículos eléctricos tendrá una gran expansión. Se espera un incremento significativo en los vehículos eléctricos para el año 2030, se proyecta que el número de vehículos livianos, pesados y sedanes aproxime a los 145 millones de vehículos registrados (IEA, 2021).

El World Energy Outlook (2020) presenta varios escenarios para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo el escenario de cero emisiones netas para el año 2050 el que más las reduce aprovechando la reducción en la demanda de combustibles fósiles, carbón y gas natural. De igual manera la inversión anual en estas energías se redujo después de los impactos que dejó la pandemia de COVID-19, ya que las personas alrededor del mundo prácticamente dejaron de salir de sus casas en varios países hubo una reducción en el crecimiento de la demanda energética global. Aprovechando este cambio debido a la pandemia varios países, principalmente europeos, han iniciado el proceso de descarbonización de sus sectores energéticos. Actualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> en Honduras aumentan anualmente sin indicios de que éstas reduzcan. Nosotros creemos que la implementación de vehículos eléctricos en Honduras lograría un cambio significativo en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector transporte de Honduras. Si este fuera acompañado por incentivos o ayudas fiscales facilitaría la adquisición de estos vehículos en Honduras, logrando hacer que la transición fuese más rápida o cómoda para los ciudadanos.

Varios artículos han evaluado diferentes factores que afectan la introducción de vehículos eléctricos. Ángel Reinemer (2018) realizó un buen análisis de los factores socioeconómicos que afectan la aplicación del vehículo eléctrico en Colombia, utilizando un modelo de difusión de Bass obtuvieron una aproximación cuantitativa para entender el comportamiento del mercado de vehículos eléctricos. Sandoval & Torres (2020) hicieron un análisis para identificar cómo el cambio

a vehículos eléctricos afectaría la demanda de energía eléctrica en Ecuador usando como referencia ciertos aspectos de los vehículos eléctricos como sus baterías, curvas de carga y descarga. Jiménez-Garro (2020) realizó un estudio de prefactibilidad para la sustitución de vehículos convencionales por vehículos eléctricos similar al nuestro en Costa Rica, pero en este caso se realizó de acuerdo con los planes, políticas energéticas o incentivos gubernamentales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el país. Mediavilla et al. (2017) realizaron un análisis de los incentivos necesarios para agilizar la introducción de los vehículos eléctricos en el Ecuador. Un dato que resalta de esta investigación es la mayor eficiencia que tienen los vehículos eléctricos al transformar entre un 52%-75% de la electricidad que utilizan en energía mecánica, mientras que los vehículos convencionales solo logran convertir el 17%-27%. Pérez et al. (2018) realizó un modelo del impacto ambiental de los vehículos eléctricos en España. Una investigación parecida a la nuestra, pero usando como fecha límite el año 2030, año que la Comisión Europea colocaba como fecha límite para reducir las emisiones de GEI.

De igual manera que algunas de estas investigaciones mencionadas, esta investigación evaluará la factibilidad tecno-económica y ambiental de la introducción de vehículos eléctricos, tomando en consideración que actualmente en Honduras no hay un marco regulatorio, incentivos o ayudas fiscales para la compra o uso de un vehículo eléctrico. Esta investigación busca saber si sería factible la compra de un vehículo eléctrico al igual que cómo serán reducidas las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta el año 2050 con ellos usando el programa de LEAP (Low Emissions Analysis Platform) el cual es una herramienta para realizar un seguimiento en el consumo energético y de gases de efecto invernadero. También se tomó en cuenta la necesidad de centros de carga en Honduras para la disponibilidad de los vehículos eléctricos para viajes que superan la autonomía, su kilometraje por carga máxima, del vehículo con el programa de ArcGIS. ArcGIS es un programa utilizado para el análisis de datos geoespaciales que permite a sus usuarios explorar datos dentro de los mapas al igual que simbolizar entidades y crear mapas. En esta investigación se elaborará un análisis ambiental para medir el impacto ambiental que tendrían los vehículos eléctricos en Honduras y un análisis tecno-económico de los mismos. Esto con el fin de intentar descarbonizar el sector transporte en Honduras. En el análisis ambiental se utilizará el programa de LEAP para realizar una serie de simulaciones para observar la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector

de transporte en Honduras, al igual que observar cómo se reduciría el consumo de los combustibles fósiles en este sector. En el análisis tecno-económico se realizará una comparación de ocho vehículos, cuatro vehículos convencionales(camionetas) y cuatro vehículos eléctricos(camionetas). No se evaluaron vehículos sedanes debido a que actualmente los modelos disponibles en el mercado de vehículos eléctricos son de alta gama o diseñados con el enfoque de un vehículo deportivo. Se comparará el costo de adquisición promedio de cada grupo de vehículos, autonomía de todos los vehículos en zonas urbanas, costo de combustible y energía eléctrica anual para los vehículos para poder saber si los vehículos eléctricos brindan un ahorro en comparación a los vehículos convencionales al finalizar la vida útil de ambos grupos. De igual manera con la autonomía de los vehículos eléctricos en carretera se modelará un mapa de donde estarían ubicados los centros de carga de estos vehículos para su uso en largas distancias. También se dimensionó un sistema solar fotovoltaico para poder cargar el vehículo eléctrico con energía renovable durante la noche con el uso de baterías o el uso de éste sin las baterías para reducir el aumento de la factura eléctrica mensual que se daría al cargar el vehículo.

La tesis se divide en cinco capítulos principales. En el Capítulo I se realiza la introducción del proyecto de investigación. En el Capítulo II se plantea el problema que consideramos, al igual que nuestra justificación por la cual creemos que es necesario solucionarlo y los objetivos generales y específicos de la investigación. En el Capítulo III se presenta el Marco Teórico de nuestra tesis, en éste se expone el contexto de nuestra investigación al igual que los temas relacionados con ella. En el Capítulo IV se presenta la Metodología que se utilizó para cada uno de los análisis. En esta parte se explican los programas que fueron utilizados para los análisis, al igual que la importancia de los datos que recopilamos para poder realizar estos análisis, los cálculos que se hicieron y fuentes de información que utilizamos. En el Capítulo V se analizan los resultados que obtuvimos de nuestras simulaciones y evaluaciones. En el Capítulo VI y último capítulo se exponen las conclusiones que se obtuvieron de los análisis que realizamos y las recomendaciones que se pueden tomar para futuras investigaciones o para la implementación de la introducción de los vehículos eléctricos

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se explicará con detalle el problema que se busca resolver, al igual que los precedentes de este y su justificación. También se incluye en este capítulo las preguntas de investigación, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación.

### **2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

En las últimas décadas se inició la lucha contra el cambio climático. Este problema que afecta al planeta causa irregularidades en el clima en todo el mundo. "El cambio climático también aumenta la aparición de fenómenos meteorológicos más violentos, sequías, incendios, la muerte de especies animales y vegetales, los desbordamientos de ríos y lagos, la aparición de refugiados climáticos y la destrucción de los medios de subsistencia y de los recursos económicos, especialmente en países en desarrollo." (Acciona, 2018). La principal causa del cambio climático es el calentamiento global, este se da por el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionando que la atmosfera retenga más calor del necesario. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). (Vanguardia, 2020).

El cambio climático es uno de los mayores problemas que enfrenta el planeta y siempre se buscan medidas para combatir el calentamiento global. La sustitución de los vehículos de combustión por vehículos eléctricos es una medida para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el planeta al descarbonizar el sector transporte. Honduras ya dio el primer paso para combatir el cambio climático al optar por usar energías renovables para la generación de energía eléctrica, pero ahora es necesario dar el siguiente paso. Los autores de esta investigación creemos que el siguiente paso debería ser la descarbonización del sector de transporte, ya que es el que más emite gases de efecto invernadero en Honduras emitiendo el 47% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del país. (Referirse a la Ilustración 1)



**Ilustración 1. Distribución de Emisiones de CO<sub>2</sub> por sector de consumo en Honduras 2019**

Fuente: BEN 2019

Varios países europeos ya iniciaron este proceso con la meta de llegar a cero emisiones netas para el año 2050. “Actualmente varios de estos países están buscando la manera de fomentar el uso de estos vehículos. Es el caso de Noruega y Países Bajos, que plantean prohibir la venta de vehículos de gasolina y diésel a partir del año 2025; Alemania estudia introducir la misma medida a partir de 2030 y Francia y Reino Unido, diez años después.” (Endesa, 2018). A finales del 2020 Alemania contaba con 194,000 vehículos eléctricos, Francia con 110,000 y Reino Unido con 108,000. (IEA, 2021). Algunas de las medidas que también está aplicando la unión europea son las del European Green Deal al reducir el límite de emisiones de CO<sub>2</sub> que permite el Sistema de Comercio de Emisiones Europeas en el sector de transporte. (EC, 2021).

Llegar a cero emisiones es algo muy complicado para Honduras, debido a que para alcanzar esta meta se necesitan realizar varios cambios. Algunos de los cambios necesarios serían que todas las viviendas en el país tengan acceso a la red de distribución de energía eléctrica, ya que según el índice de cobertura y acceso a la electricidad en Honduras del año 2019 solo el 85.02% tiene acceso a ella y que la matriz de generación de energía eléctrica debe de estar en su totalidad compuesta por fuentes renovables. (Referirse a la Tabla 1)

**Tabla 1: Índice de Cobertura Eléctrica por regiones de desarrollo en Honduras**

REGIÓN DE DESARROLLO	NOMBRE	TOTAL DE VIVIENDAS	VIVIENDAS CON ACCESO A RED DE DISTRIBUCIÓN	ICE
R-01	Valle de Sula	385,077	361,794	93.95%
R-02	Valle de Comayagua	239,105	193,816	81.06%
R-03	Occidente	361,850	336,973	93.13%
R-04	Valle del Leán	87,162	77,044	88.39%
R-05	Valle del Aguán	119,616	103,207	86.28%
R-06	Cordillera Nombre de Dios	46,067	31,135	67.59%
R-07	Norte de Olancho	25,441	21,171	83.22%
R-08	Valles de Olancho	82,917	69,110	83.35%
R-09	Biosfera del Río Plátano	13,061	3,131	23.97%
R-10	La Mosquitia	15,160	1,139	7.51%
R-11	El Paraíso	100,934	63,046	62.46%
R-12	Centro	347,911	321,062	92.28%
R-13	Golfo de Fonseca	212,832	163,120	76.64%
R-14	Río Lempa	100,994	66,556	65.90%
R-15	Arrecife Mesoamericano	22,102	21,580	97.64%
R-16	Santa Bárbara	94,002	82,559	87.83%
TOTAL		2,254,231	1,916,443	85.02%

Fuente: Índice de Cobertura y Acceso a la electricidad en Honduras

## 2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dado el alto costo de los combustibles fósiles como se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3 podemos observar que para la fecha del 02 de agosto del 2021 si comparamos los precios del galón de gasolina, en Honduras un galón de gasolina cuesta Lps 102.758 según (Global Petro Prices) y podemos observar que tiene el precio de galón más costoso comparado con sus países vecinos en los cuales el precio del galón de El Salvador es de Lps 94.238 y el de Guatemala es de Lps 85.989. Además, cuenta con un crecimiento constante del costo de estos como se muestra en la Ilustración 2, podemos observar que el precio del galón de gasolina superior al inicio de año 2021 era de Lps. 83.34 según (El Proceso Digital HN) y actualmente hasta la fecha registrada del 26 de julio al 1 de agosto de 2021 el precio del galón de la gasolina superior es de Lps. 103.14 según (El Proceso Digital HN) lo cual significa que en 8 meses ha subido un 24% el precio de este. De igual manera al haber un crecimiento anual de vehículos en Honduras como se muestra en la Ilustración 3, crece la demanda de combustibles tales como las gasolinas, diésel, kerosene y GLP.

Por ende, crece el número de emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera y crece el gasto en combustibles.

**Tabla 2: Precio del galón de Gasolina 02-agosto-2021**

Divisa	Honduras	Estados Unidos	El Salvador	Guatemala	Nicaragua
HNL	102.759	83.858	94.238	85.989	102.622
USD	4.327	3.532	2.737	3.619	4.319
EUR	3.642	2.972	2.302	3.047	3.638

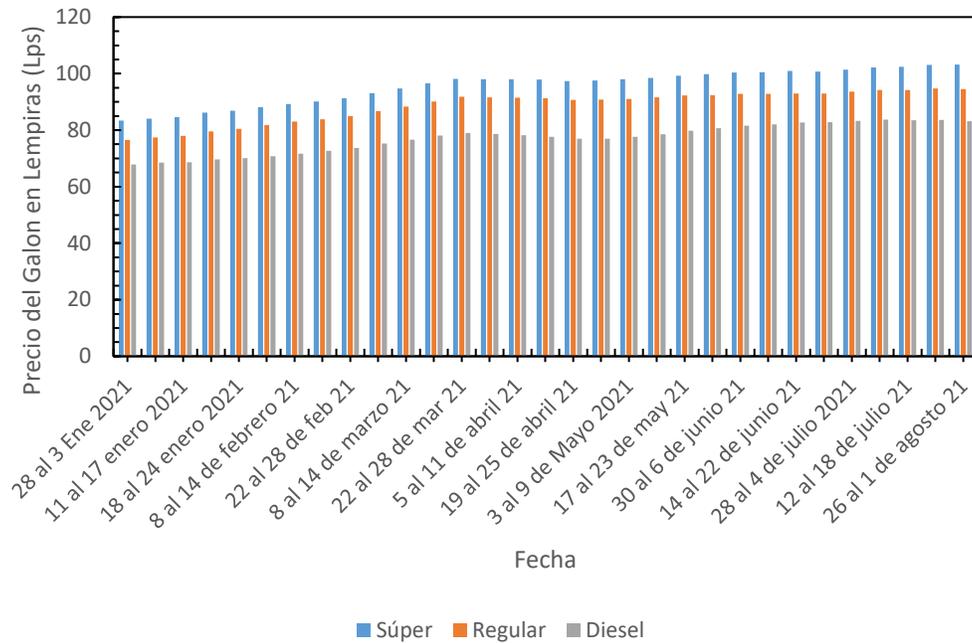
Fuente: Creación Propia con Datos de Global Petro Prices

Actualmente se desconoce cuál sería el impacto económico y ambiental que tendría la introducción de los vehículos eléctricos al país. También se desea realizar una evaluación económica para determinar la factibilidad de cargar los vehículos eléctricos familiares en casa por medio de un sistema fotovoltaico. De igual manera determinar en qué zonas serían necesarios los centros de carga para los vehículos eléctricos.

**Tabla 3: Precios de combustibles en Honduras del 02 de julio al 08 de agosto de 2021**

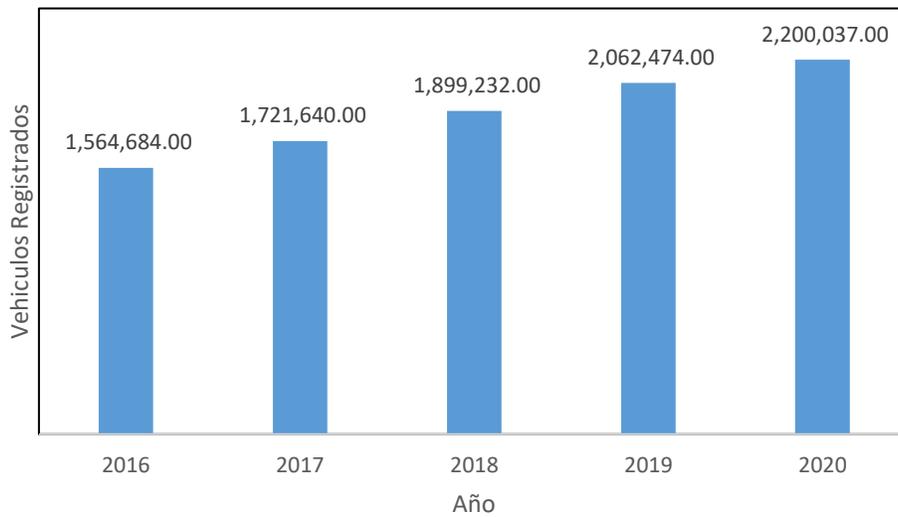
Producto	Precio [HNL/Galón]	
	San Pedro Sula	Tegucigalpa
Gasolina Superior	101.44	103.14
Gasolina Regular	92.85	94.55
Diésel	81.38	83.16

Fuente: Proceso Digital HN



**Ilustración 2. Precio del Combustible 2021**

Fuente: Proceso Digital HN

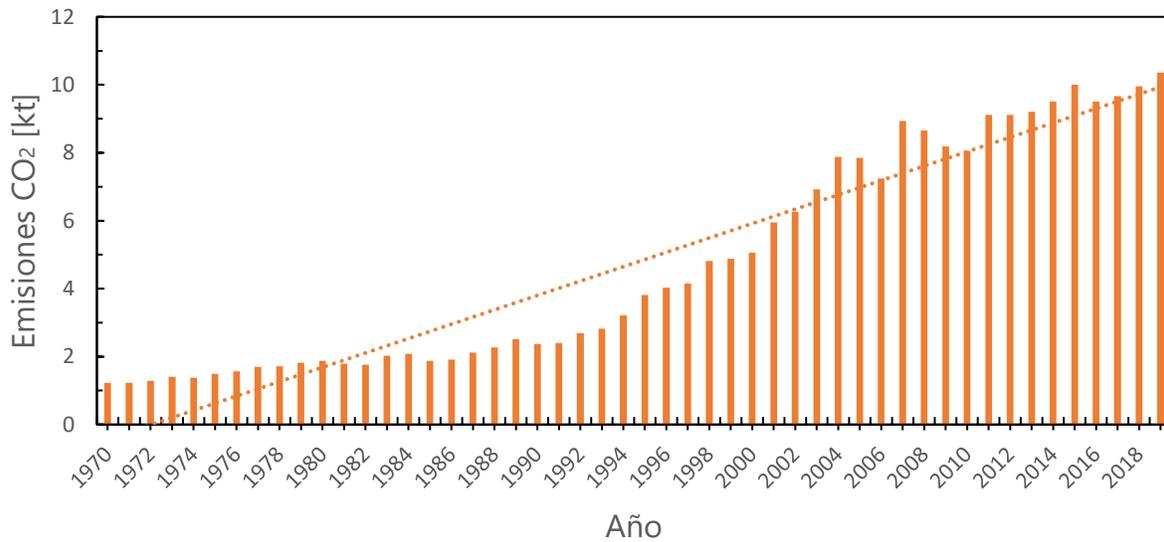


**Ilustración 3. Vehículos Registrados en Honduras**

Fuente: INE

### 2.3. JUSTIFICACIÓN

En la última década las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas del país aumentaron en un 28.5% pasando de 8.059 kilotoneladas (kt) de CO<sub>2</sub> en 2010 a 10.356 kt de CO<sub>2</sub> a finales del 2019.



#### Ilustración 4. Emisiones de CO<sub>2</sub> en Honduras

Fuente: Datos Macro

Con este aumento de 2.297 kts es necesario buscar maneras de reducir nuestras emisiones de CO<sub>2</sub>. “Un vehículo movido por baterías no contamina nada mientras circula, pero la energía consumida durante su fabricación y la de los materiales empleados sí pueden ser fuentes contaminantes.” (Endesa, 2018). Por esto también es importante que la energía generada provenga de fuentes renovables y limpias.

## 2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es el porcentaje de nuevos vehículos cada año?
- ¿Cuántos vehículos hay por tipo de vehículo en Honduras?
- ¿Cuál es la cantidad de KBEP que un vehículo de combustión interna consume a lo largo de un año?
- ¿Cuántos kWh consumiría un vehículo eléctrico en promedio en el país a lo largo de un año?
- ¿Cuántos KBEP dejarían de ser consumidos para el año 2050 con la introducción de vehículos eléctricos?
- ¿Cuánto dinero ahorraría el país con la disminución de KBEP que dejarían de ser consumidos?
- ¿Cuántas Toneladas Métricas de CO<sub>2</sub> dejarían de ser emitidas para el año 2050 con la introducción de vehículos eléctricos?
- ¿Cuál tendría que ser en promedio el tamaño de un sistema FV para el autoconsumo del vehículo eléctrico?
- ¿Cuál sería el costo para un sistema FV para el autoconsumo del vehículo eléctrico?
- ¿Cómo se mirarían los centros de carga distribuidos por la zona urbana del país?

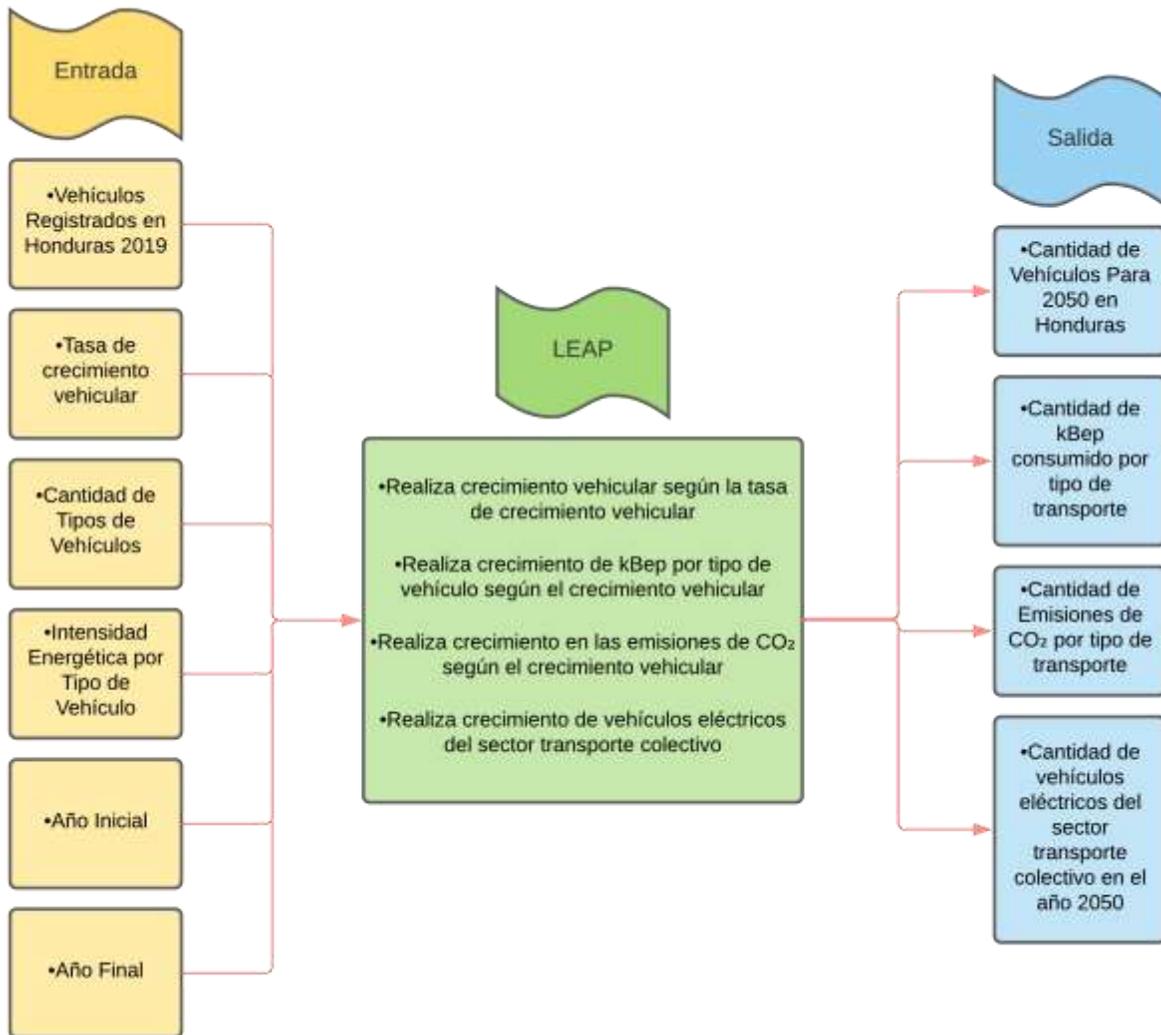
## 2.5. OBJETIVOS

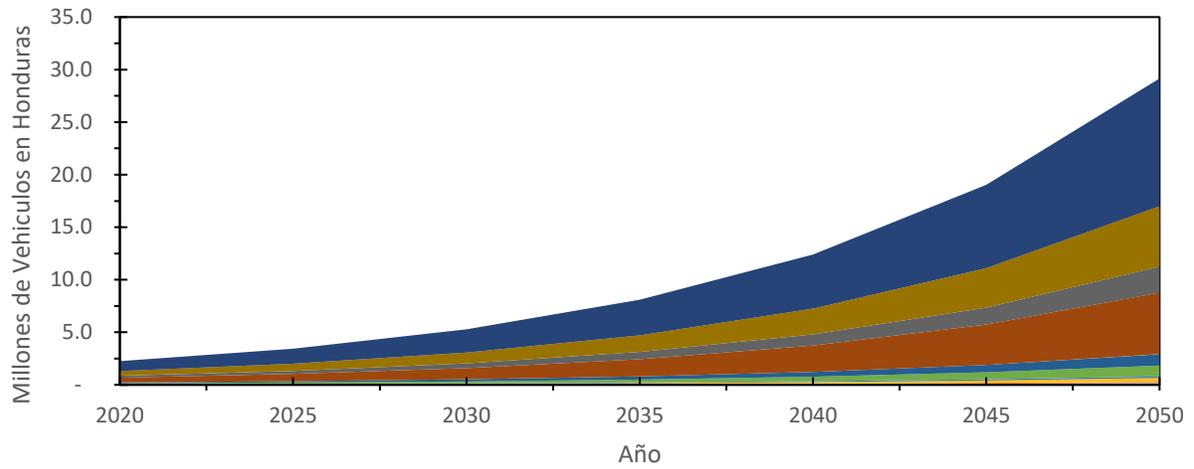
### 2.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la factibilidad tecno-económica y ambiental sobre la introducción de vehículos eléctricos en Honduras, para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector de transporte.

### 2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular el crecimiento vehicular anual en Honduras.
- Calcular el porcentaje de tipos de vehículos en Honduras.
- Calcular el consumo general de KBEP por vehículo al año.
- Calcular el consumo general de kWh por vehículo eléctrico al año.
- Calcular la diferencia de KBEP para el año 2050 sin y con el uso de vehículos eléctricos con el software LEAP.
- Calcular el ahorro económico al utilizar energía eléctrica en vez de combustibles fósiles.
- Calcular la diferencia de Toneladas Métricas de CO<sub>2</sub> para el año 2050 sin y con el uso de vehículos eléctricos con el software LEAP.
- Dimensionar un sistema solar fotovoltaico con la finalidad de poder cargar el vehículo eléctrico con energía verde en los hogares de las ciudades principales de Honduras.
- Calcular un costo promedio para un sistema fotovoltaico capaz de alimentar un vehículo eléctrico y analizar la factibilidad económica del mismo.
- Realizar una planificación de estaciones de carga mediante el programa de ArcGIS y simular las distancias que tendría que recorrer el vehículo antes de necesitar cargar.





- Transporte colectivo de Diésel Interurbanos
- Transporte colectivo de Diésel urbanos
- Transporte colectivo microbuses Diésel
- Transporte colectivo Taxis gasolina
- Transporte colectivo Taxis Diésel
- Carga pesada Diésel
- Vehículos Semipesados de carga Diésel
- Vehículos livianos de Carga Diésel
- Automóviles particulares Diésel
- Automóviles particulares gasolina
- Motocicletas

Millones de Vehículos Simulados para el año 2050 en Honduras

### **III. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se exponen los temas relacionados con nuestro proyecto de investigación. Detallando el inicio de los vehículos eléctricos, los tipos de vehículos eléctricos, centros de carga, emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial y en Honduras.

#### **3.1. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Los vehículos que son completamente eléctricos (EV), son aquellos que utilizan la energía eléctrica para iniciar el motor del vehículo. Estos vehículos pueden ser propulsados por uno o más motores eléctricos. Los vehículos eléctricos funcionan debido a la energía que liberan sus baterías o en algunos casos por células de combustible de hidrógeno. Otro caso puede ser cuando toman directamente la energía de una red eléctrica a la que deben de estar conectados permanentemente. En estos vehículos la energía es almacenada en baterías que pueden ser recargadas mediante una conexión a la red eléctrica a 110 V, 240 V o 480 V. Este tipo de vehículo requiere de un menor mantenimiento que los vehículos con motores de combustión, ya que estos solo requieren el reemplazo de la batería de acuerdo con la vida útil de esta. Una de las mayores ventajas que ofrecen los vehículos eléctricos es que el 46% de la energía que liberan las baterías ayuda a mover el vehículo, mientras que en los vehículos con motores de combustión solo el 18% de la energía que libera su combustible es utilizada. Esto significa que los vehículos eléctricos son entre 10-30% más eficientes que los de combustión. Otra ventaja que brindan estos vehículos es que no emiten gases de efecto invernadero, lo cual ayuda a combatir el problema del cambio climático.(Ruíz, 2015).

La descarbonización de algunos medios de transporte comenzó a finales del siglo XIX. Esto se dio principalmente en los medios de transporte público como el tranvía, el metro y trolebús. La empresa de automóviles Ford fue la única que logro algún avance con los vehículos eléctricos con el Ford T. (Frías & Román, 2019).

“El uso de vehículos eléctricos representa una opción viable para la disminución de gases de efecto invernadero; sin embargo, al considerar el ciclo de vida en su totalidad, los posibles beneficios relacionados con la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> depende en gran medida de la forma como la energía eléctrica es generada. Actualmente tienen el inconveniente del tiempo de recarga y autonomía del vehículo.” (Mateo, M. O., 2010).

### 3.1.1. HECHOS HISTÓRICOS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

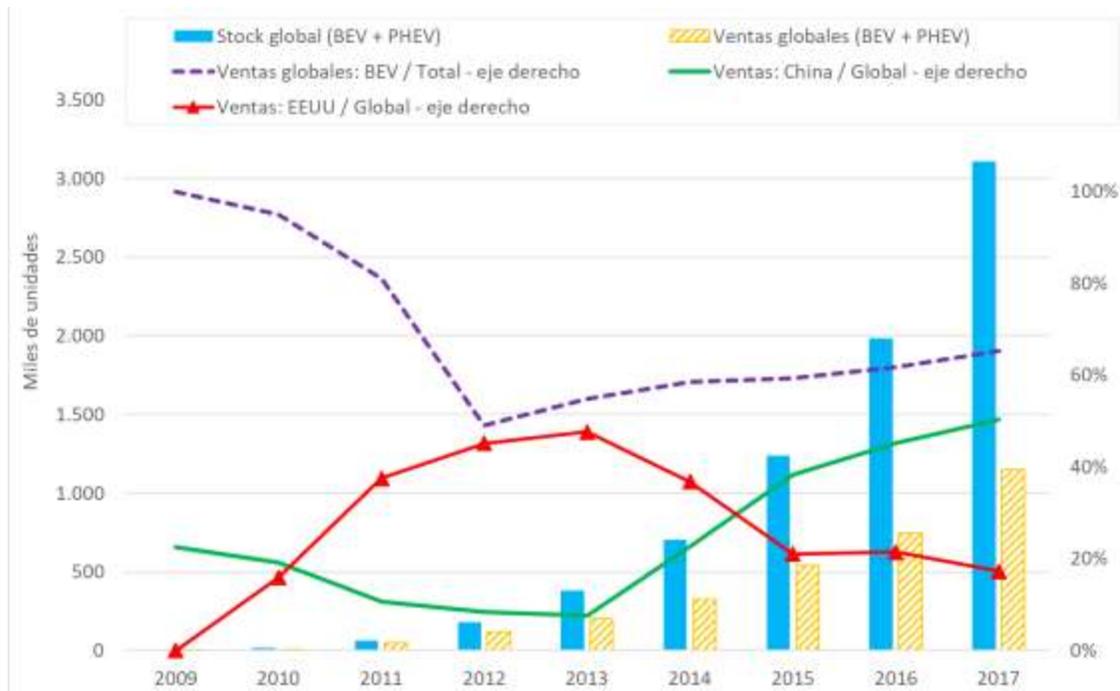
La invención de la pila de Volta en el año 1800 permitió la realización de experimentos repetibles con corrientes eléctricas. Los vehículos eléctricos se inventaron mucho antes que los vehículos con motores de gasolina y diésel. Se cree que el primer prototipo de estos vehículos lo construyó el húngaro Anyos Jedlik en el año 1828. Luego en 1834 el herrero Thomas Davenport invento el primer vehículo eléctrico impulsado por una batería. El diseño de este vehículo era de un pequeño tren que viajaba en una vía circular. Las vías hacían de conductores de electricidad. De igual manera Davenport fue el inventor del primer motor eléctrico de corriente continua. Entre los años 1832 y 1839 se construyó el primer vehículo eléctrico impulsado usando una batería no recargable, este fue construido por el escocés Robert Anderson. El precedente de los coches eléctricos actuales fue desarrollado por el holandés Sibrandus Stratingh y su ayudante Cristofer Becker en el año 1835 el cual de igual manera era un vehículo que funcionaba con baterías no recargables. Robert Davidson invento en 1837 la primera locomotora eléctrica y en 1842 construyó un vehículo eléctrico de cuatro ruedas al que llamo Galvani. El Galvani solamente alcanzaba una velocidad de 4 mph y no podía transportar pasajeros. El problema principal en el funcionamiento de los vehículos eléctricos eran sus baterías. Luego de realizar algunos cálculos se demostró que el consumo de zinc de las baterías de los vehículos eléctricos era cuatro veces más caro que el carbón que ocupaba una máquina de vapor. En 1850 se inventa la batería recargable de ácido-plomo por Gaston Plante. Esta batería es la que se utiliza actualmente en los motores de arranque de los coches. Esta nueva batería puede mantener la corriente eléctrica durante largos periodos de tiempo. Luego en 1898 se

construyeron y comercializaron los primeros modelos de vehículos eléctricos. Estos circularon primero por las calles de Londres y Nueva York. Sus motores eran de corriente continua, este se conectaba a baterías que se podían conectar en varias configuraciones en serie y paralelo. (Moreno, F. M. ,2016, p. 129).

### 3.1.2. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A NIVEL MUNDIAL

Según Ding (2017) los vehículos eléctricos (EVs) se pueden dividir en tres tipos. Primero están los vehículos eléctricos de baterías (BEV), estos dependen solamente de su batería y la tecnología de esta. La mayor ventaja de estos vehículos es que emiten cero emisiones de gases de efecto invernadero. Luego tenemos los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV). Este vehículo es impulsado por un motor eléctrico, pero de igual manera puede ser impulsado de ser necesario por hidrógeno, metanol, etanol o gasolina. El componente principal de estos vehículos es la pila de combustible, esta es un dispositivo electroquímico que mediante una reacción química produce energía eléctrica. Por último, tenemos los vehículos eléctricos híbridos (HEV). Estos vehículos son impulsados por gasolina o diésel y electricidad. Dependiendo de cómo sea combinado este vehículo puede considerarse un vehículo micro, mediana o completamente un vehículo eléctrico híbrido. Sin importar en que categoría se encuentre este vehículo pierde la ventaja de los vehículos eléctricos de no emitir gases de efecto invernadero. (p. 50)

“Luego de la introducción de los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) en el mercado hacia fines de la década pasada, la tendencia de los últimos años muestra que van ganando market share nuevamente los BEV (referirse a la ilustración 5). Incentivados por regulaciones de cero emisiones en California y otros estados, los BEV tuvieron un breve auge a mediados de los noventa. Años después, al flexibilizarse las mencionadas regulaciones y ante las ventajas de los HEV, que no dependen de la infraestructura de recarga y son menos sensibles a la capacidad (y precio) de las baterías, los HEV se consolidaron como dominantes en EE. UU. hacia fines del noventa.” (Dulcich et al. 2018).



**Ilustración 5. Evolución de las ventas y stock globales de EVs**

Fuente: Evolución Reciente y Situación Actual de la Producción y Difusión de Vehículos Eléctricos a Nivel Global y en Latinoamérica

A inicios del año 2009 el gobierno chino lanzó un programa para el despliegue de vehículos eléctricos. Este programa es el “Plan para formar y revitalizar la industria automotriz”. El objetivo de este plan era ayudar con el desarrollo de la industria de vehículos de combustibles alternativos. Luego en marzo del mismo año se fijó como meta la producción de 500,000 vehículos eléctricos donde se incluían vehículos eléctricos de batería, vehículos eléctricos híbridos y los vehículos eléctricos híbridos enchufables. Esto último con el fin de aumentar en un 5% las ventas de los vehículos de combustibles alternativos para finales del 2012. También se incluyó el “Programa Nacional de Conservación de Energía y Vehículos de Combustible Alternativo”. Los objetivos de este programa eran demostrar estrategias para la conservación de la energía, iniciar el uso de vehículos de combustibles alternativos en el sector de transporte público y la construcción de centros de carga públicos para los vehículos eléctricos. (Zheng et al., 2012, p. 2)

Actualmente Tesla es la empresa número uno en la producción de vehículos eléctricos. Luego los puestos número dos y tres son ocupados por las empresas chinas BYD y BAIC. Estas dos son las que tienen el crecimiento más rápido en ventas en los últimos cinco años En el puesto número cuatro se encuentra la empresa japonesa Nissan y en quinto la empresa alemana BMW. (Dulcich, F. M., Otero, D., & Canzian, A. M. ,2019).

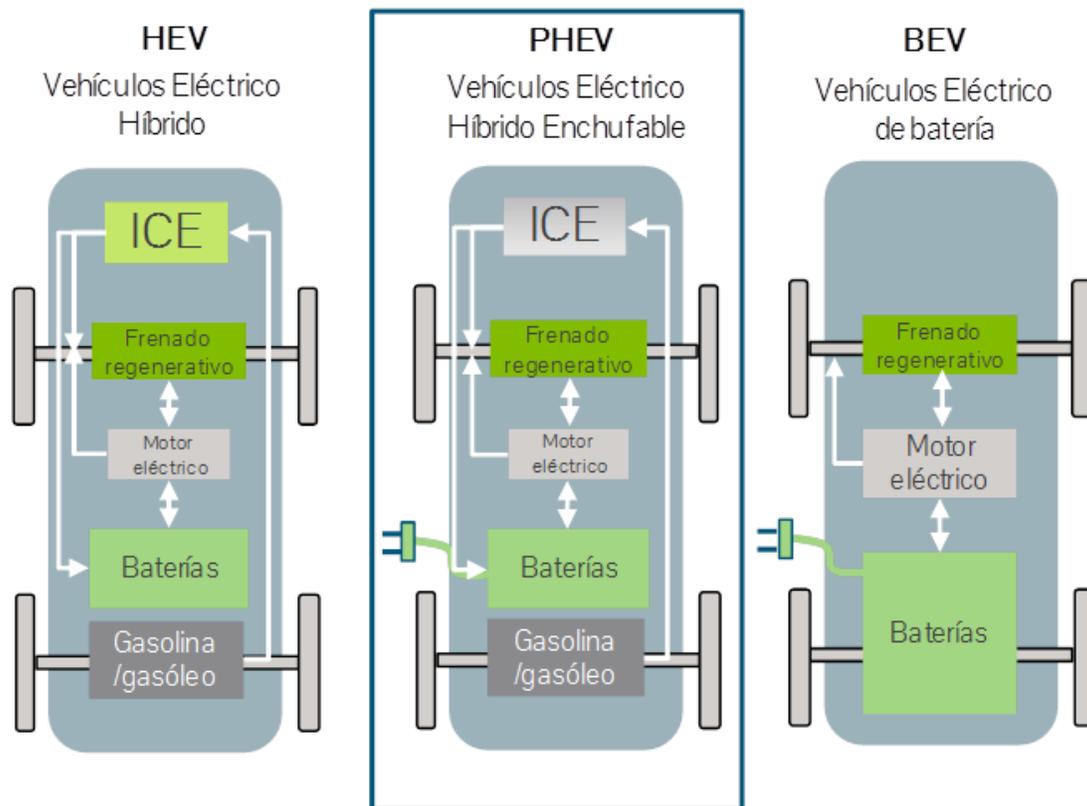
**Tabla 4: Productores de vehículos eléctricos a nivel mundial 2018**

Empresa	2018	2014	Variación lineal	Ventas 2018 / Ventas 2014
Tesla	245	32	214	7.8
BYD	227	18	209	12.4
BAIC	165	5	160	31.7
BMW	129	18	112	7.3
Nissan	97	63	34	1.5
Roewe	93	s.d.	s.d.	s.d.
Chery	66	9	57	7.7
Hyundai	53	s.d.	s.d.	s.d.
Renault	53	18	35	2.9
Volkswagen	52	10	42	5.3
Hawtai	52	s.d.	s.d.	s.d.
Chevrolet	51	23	28	2.3
JAC	50	s.d.	s.d.	s.d.
Geely	50	s.d.	s.d.	s.d.
JMC	49	s.d.	s.d.	s.d.
Toyota	46	21	25	2.2
Mitsubishi	43	37	6	1.2
Dongfeng	40	s.d.	s.d.	s.d.
Kia	38	1	36	29.0
Volvo	36	5	31	6.9

Fuente: Evolución Reciente y Situación Actual de la Producción y Difusión de Vehículos Eléctricos a Nivel Global y en Latinoamérica

### 3.1.3. TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Como se explicó en la sección anterior hay tres tipos de vehículos eléctricos principales. Estos son los vehículos eléctrico híbrido, vehículos eléctricos de batería y los vehículos eléctricos híbrido enchufable. A continuación, se explicará el funcionamiento de cada uno de estos.



**Ilustración 6. Tipología de vehículos eléctricos.**

Fuente: WWF/Adena

Los vehículos eléctricos híbridos utilizan dos motores. Utilizan un motor eléctrico el cual funciona por medio de la energía almacenada en una batería y un motor de combustión interna. El utilizar estos dos motores permite utilizar un motor de combustión interna más pequeño sin sacrificar el rendimiento gracias a la potencia adicional del motor eléctrico. Algunos de estos vehículos incluso pueden transitar distancias cortas solo usando la energía eléctrica. La mezcla de estos dos motores ayuda a reducir el consumo de combustibles del vehículo y a emitir una menor cantidad de gases en comparación con los vehículos convencionales. Estos vehículos cargan su

batería por medio del frenado regenerativos y del motor de combustión interna. Con el frenado regenerativo se logra aprovechar la energía que normalmente se pierde al frenar utilizando el motor eléctrico como un generador. Los vehículos eléctricos híbridos enchufables utilizan de igual manera dos motores. Utilizan un motor eléctrico el cual funciona por medio de baterías y un motor de combustión interna. A diferencia de los vehículos eléctricos híbridos estos se pueden conectar a la red eléctrica para cargar las baterías. Aunque de igual manera estas se pueden recargar utilizando el frenado regenerativo. Las baterías de estos vehículos son más grandes que la de los vehículos eléctricos híbridos lo cual les permite desplazarse distancias entre 16 y 65 kilómetros solo con la electricidad de este. El motor de combustión interna solo se utiliza cuando la batería se encuentra totalmente descargada, para la aceleración rápida o cuando se utiliza el aire acondicionado a alta potencia. Cuando no se utiliza el motor de combustión los vehículos eléctricos híbridos enchufables no emiten gases e incluso cuando este si está en uso emite menos gases que los vehículos convencionales. Los vehículos totalmente eléctricos o de batería solo utilizan motores eléctricos. Estos vehículos usan la energía almacenada en sus baterías para hacer funcionar uno o más motores eléctricos. Estos no contienen un motor de combustión interna. Sus baterías se pueden cargar al conectar el vehículo a la red eléctrica o por medio del frenado regenerativo. Ya que este no tiene un motor de combustión interna no emite gases de escape. Las distancias que pueden desplazarse los vehículos totalmente eléctricos dependen de los hábitos de manejo y de las condiciones en las que se maneja. A diferencia de los otros dos vehículos todas las funciones del vehículo como el aire acondicionado, calefacción y luces funcionan solamente del motor eléctrico y las baterías. Por lo general un vehículo totalmente eléctrico puede desplazarse entre 112 y 145 kilómetros cuando se encuentra totalmente cargado. (AFDC, 2015).

#### 3.1.4. GENERACIONES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En los últimos años la industria de los vehículos eléctricos dio un salto cualitativo, cambiando el concepto que se tenía de un vehículo eléctrico. Actualmente se habla de dos generaciones de vehículos eléctricos. Algunas de las diferencias entre estas generaciones son la

autonomía, tiempo de carga, variedad en cuanto a necesidades, más velocidad, maleteros más amplios, modos de frenado, modos de conducción y equipamiento completo. En el aspecto de la autonomía, esta es la distancia máxima que puede recorrer un vehículo con su tanque de combustible lleno o en este caso con su batería cargada al cien por ciento, los vehículos eléctricos de primera generación eran de un aproximado de 50 km en su carga máxima. Mientras que los vehículos eléctricos de segunda generación cuentan con una autonomía que va desde 300 hasta 400 km de autonomía dependiendo de sus baterías. Otro punto de relevancia eran los tiempos de carga de los vehículos. Los vehículos eléctricos de segunda generación pueden aprovechar los centros de carga de mayor potencia debido a los nuevos tipos de conexión y baterías que tienen. Algo que diferencia a los vehículos eléctricos de segunda generación es el uso del frenado regenerativo, método el cual ayuda a mantener la autonomía del vehículo. (Service, 2021)

### 3.1.5. CENTROS DE CARGA

“Carga convencional: es la más estandarizada para la carga vinculada (en la vivienda) y todos los fabricantes de vehículos eléctricos la aceptan. Se realiza con corriente alterna monofásica a una tensión de 230 voltios (V) y una intensidad de hasta 32 amperios (A). El tiempo necesario para una recarga completa de la batería (tipo 40 kWh) ronda entre las 6 y 12 horas. Es apto para garajes privados, ya que es la misma tensión y corriente que la doméstica y se suele sacar del contador o cuadro de la vivienda. Las potencias normales son 3,7 a 7,4 kW. Carga semi-rápida: sólo la aceptan algunos vehículos, aunque cada vez menos. La carga se realiza con corriente alterna trifásica, con una tensión de 400 V y una intensidad de hasta 32 A. En este caso, el tiempo de recarga se reduce a 1 a 2 horas. Las potencias normales son 22 kW, aunque muchos coches trifásicos solo cargan a 11 kW en estos equipos. Carga rápida: concebida para la carga pública. Casi todos los fabricantes de BEV la admiten, y algún PHEV. Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua de 400 V y hasta 125 A La potencia es de 50 kW. El tiempo de recarga se reduce a unos 30 – 60 minutos. Carga ultrarrápida: concebida para la carga pública en carretera. Cada vez más fabricantes de BEV la admiten. Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua de 400 V a 800 V y hasta 400 A La

potencia es de 100 a 350 kW. El tiempo de recarga se reduce a unos 10 – 20 minutos. "(ForoEV, 2012).

### **3.2. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> A NIVEL MUNDIAL**

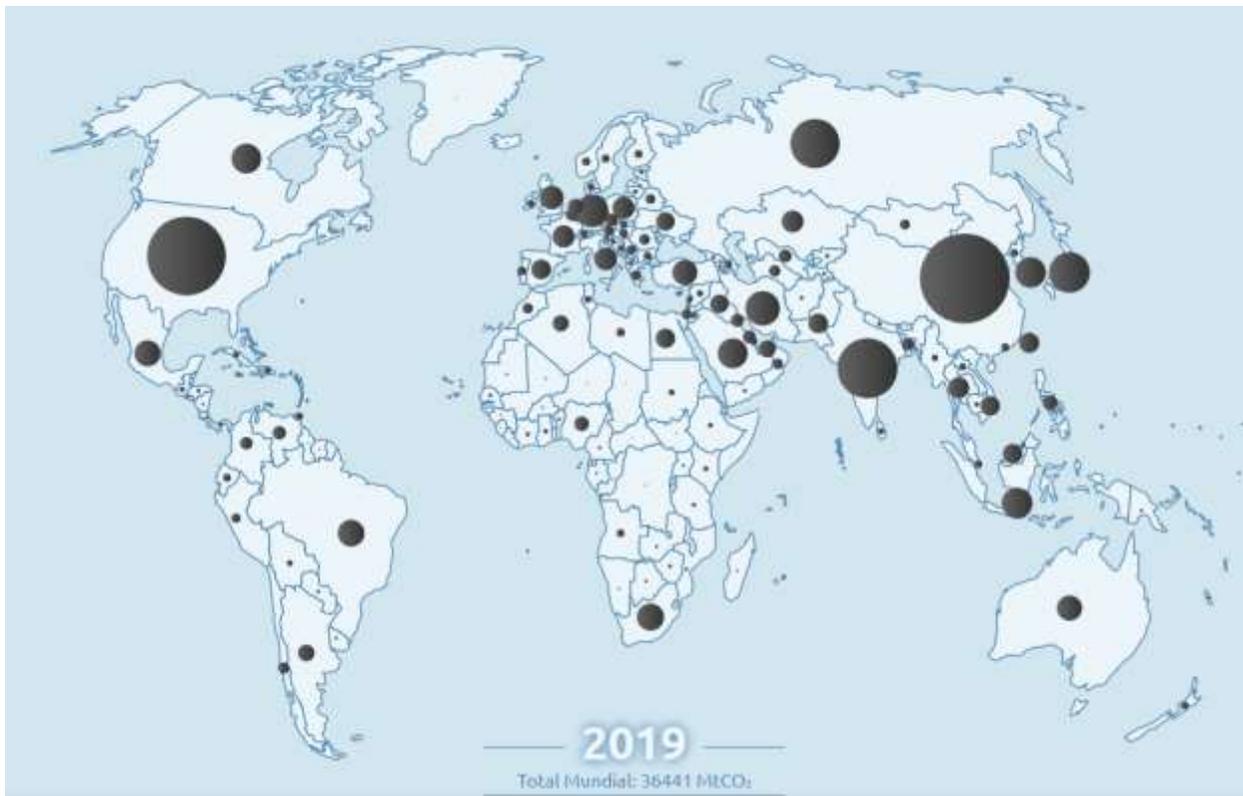
Entre los años 1971 y 2001 las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> tuvieron un gran crecimiento. Durante los primeros tres años las emisiones crecieron de gran manera hasta que la primera crisis energética hizo que se estabilizaran en 1975. Luego las emisiones volvieron a crecer hasta 1979 después de los efectos de la primera crisis energética. Debido al incremento de los precios del petróleo se empezaron a reducir las emisiones mundiales a partir de 1979. Por último, en el año 1996 se volvió a dar un incremento en las emisiones mundiales por parte de Asia. Debido a estos incrementos se iniciaron planes para reducir las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> como el protocolo Kioto. Este buscaba la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a distintas escalas para cada país o grupo de países. Este acordaba que la reducción de emisiones en Estados Unidos era del 7%, Japón el 6% y la Unión Europea el 8%. En el caso de otros países este incluso permitía un pequeño aumento de las emisiones. (Alcántara, V., & Padilla, E., 2006).

La lucha contra el cambio climático en busca de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> ha llevado a intentar lograr la descarbonización del sector transporte. Esto ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías y la utilización de combustibles alternativos. Esto también es una ventaja, ya que la mayoría de los yacimientos de petróleo se encuentran en zonas conflictivas. (Mateo, M. O., 2010).

Uno de los efectos del cambio climático también es el deterioro de la calidad del aire, lo cual perjudica nuestra salud. Esto se da principalmente por las emisiones de los vehículos en las ciudades y las centrales térmicas de combustibles fósiles. "Según datos de la ONU, la contaminación en las ciudades contribuye a casi 3,4 millones de muertes prematuras en todo el mundo y es un factor decisivo en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como en

los ictus cerebrales. La mayoría de las muertes se producen en los núcleos urbanos de China (1,4 millones), seguidos de la India (645.000) y Pakistán (100.000). "(Fresnada, 2016).

El calentamiento global también amenaza la calidad de vida, ya que este limita el acceso al agua, salud y alimentos en ciertas regiones. Todo esto debido a las sequías y otros fenómenos meteorológicos que el cambio climático ocasiona. Por lo que se busca reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> globales con la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Según el Bp Statistical Review of World Energy en el año 2016 las emisiones totales del mundo fueron de 33432.04 MtCO<sub>2</sub> y para el año 2019 fueron 36441 MtCO<sub>2</sub> lo cual implica un crecimiento del 9% en las emisiones mundiales. (BP, 2017).

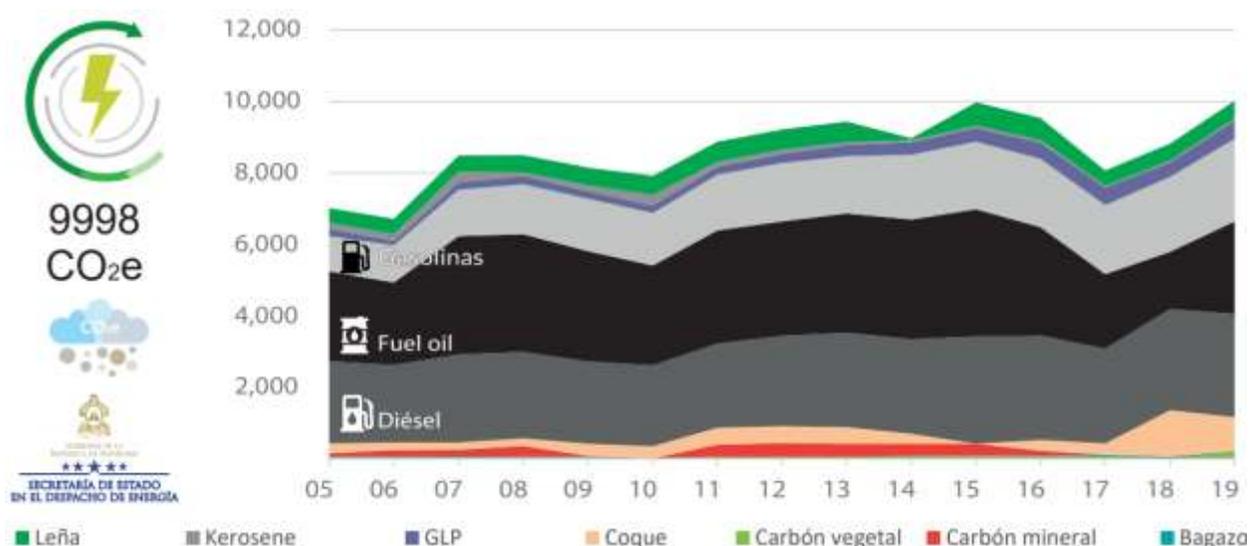


**Ilustración 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> Mundiales 2019**

Fuente: Global Carbon Atlas

### 3.2.1. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN HONDURAS

Según el BEN (2019) el sector de energía en Honduras emitió un estimado de 9998 Gg de CO<sub>2</sub> durante el 2019, se notó una tendencia al incremento de las emisiones desde el 2017. Esto se debe a que fue un año de poca lluvia lo cual bajo la producción de energía hidroeléctrica en Honduras. Para compensar la falta de energía fue necesario el uso de otras fuentes de energía. Esto ocasionó un efecto en las emisiones de gases de efecto invernadero, resultando en el aumento de más de 1000 Gg de CO<sub>2</sub>. En su mayoría las emisiones del sector de energía en Honduras provienen de la combustión de Gasolinas, Fuel oil y Diésel. El consumo de Gasolinas se mantiene en incremento desde el 2005, esto debido al incremento en el parque vehicular de Honduras.



**Ilustración 8. Emisiones de gases de efecto invernadero según sector de consumo energético en Honduras 2019**

Fuente: BEN 2019

### 3.2.2. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL SECTOR TRANSPORTE DE HONDURAS

Según el BEN (2019) el sector de transporte de Honduras emite aproximadamente la mitad de las emisiones del país y el sector de transformación emite aproximadamente un tercio de las emisiones totales. Estos dos sectores de consumo emiten dos tercios de las emisiones totales generadas y ambos presentan un incremento del 1% en sus emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto al 2018.



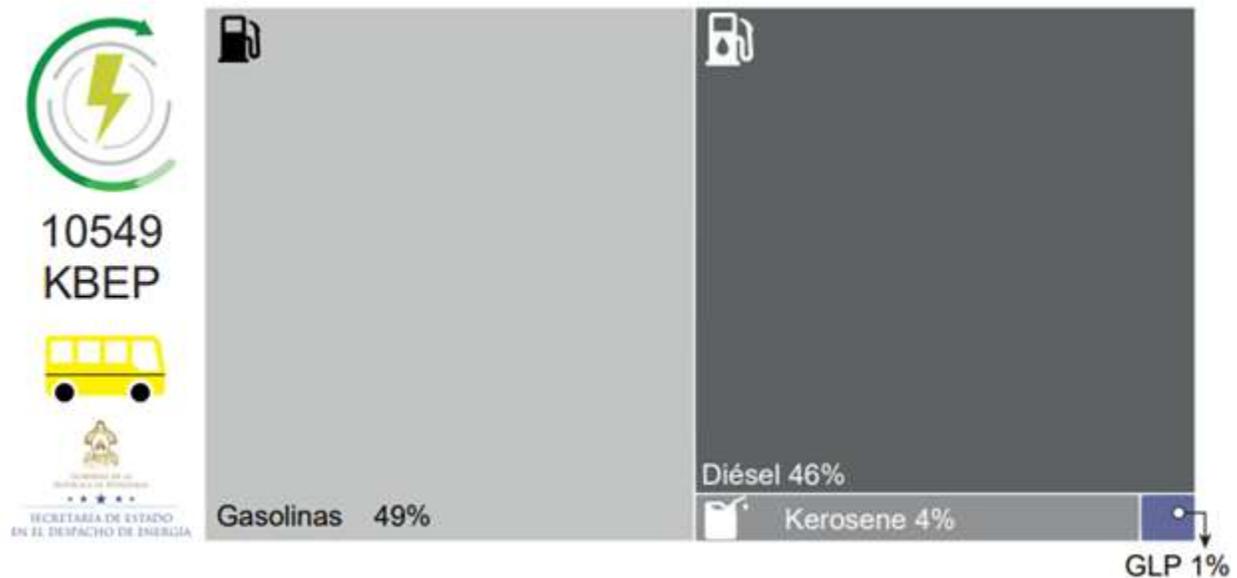
**Ilustración 9. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 2019 según sector de consumo energético en Honduras**

Fuente: BEN 2019

### 3.3. CONSUMO DE KBEP EN EL SECTOR TRANSPORTE DE HONDURAS

Este sector se incluye todo el consumo energético utilizado para el transporte de personas y carga en Honduras. En el 2019 el 35% de la energía total demanda en Honduras proviene de este sector. En comparación al 2018 hubo un incremento del consumo de energía en ese sector del 4% lo cual equivale a un aproximado de 400 kBep. Debido a que la mayoría de los vehículos del sector son vehículos livianos o pesados su consumo energético se mantiene constante. Con

respecto al 2018 el consumo de Diésel reporto un aumento del 1% y las Gasolinas del 5%. (BEN, 2019).



**Ilustración 10. Energía consumida en el sector transporte en Honduras 2019**

Fuente: BEN 2019

### 3.4. RED VIAL DE HONDURAS

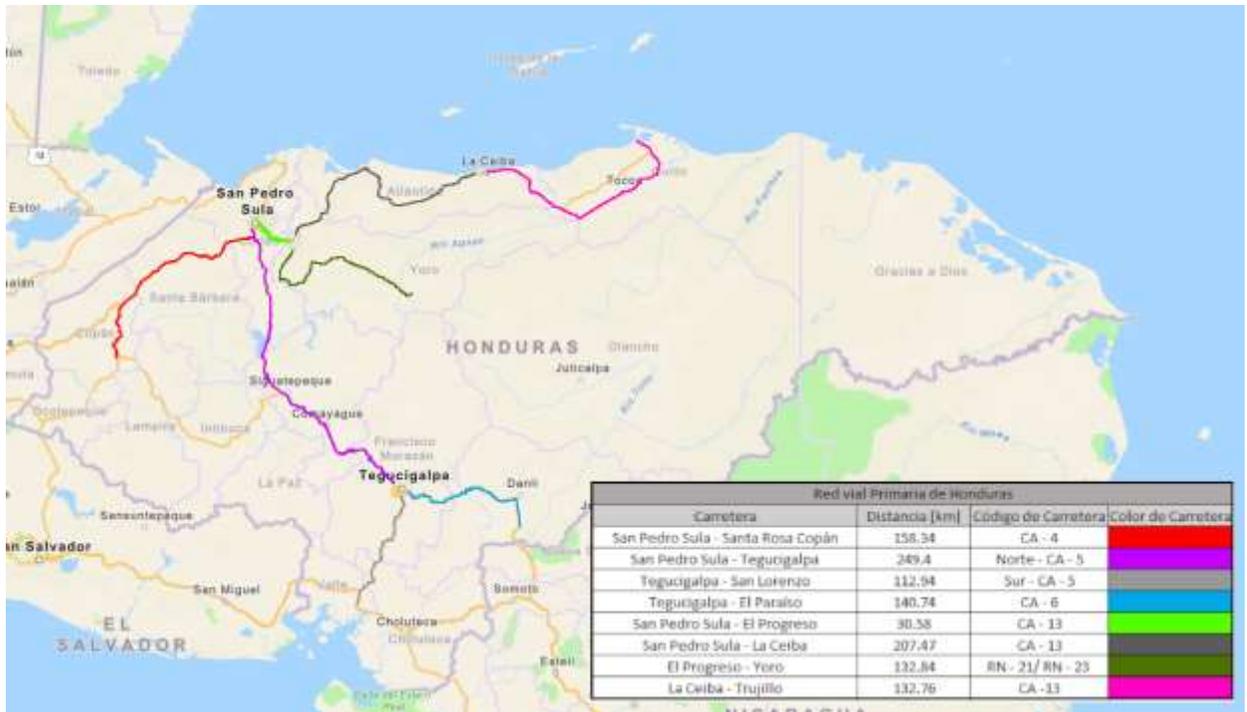
Según el INE (2018) las carreteras de Honduras tienen una extensión de 18,477 kms, que corresponden a la Red Vial Oficial. La Red Oficial de Carreteras de Honduras se divide de la siguiente manera:

- Red Vial Primaria
- Red Vial Secundaria
- Red Vial Vecinal
- Red Vial Terciaria

La Red Vial Primaria son todas las carreteras que unen las principales ciudades o sitios de importancia nacional en Honduras. Su longitud es de 3,275 kms. Luego está la Red Vial Secundaria en esta se encuentran las carreteras que unen a las ciudades y los pueblos o a la Red Vial Primaria. La longitud de esta es de 2,554 kms. La siguiente es la Red Vial Vecinal está conformada por calles y carreteras y su uso es departamental o municipal. Esta tiene una longitud de 8,214 kms. Por último, está la Red Vial Terciaria la cual es un sistema de pequeñas carreteras construidas por instituciones privadas como el Fondo Cafetero Nacional, Fondo Hondureño de Inversión Social y algunas municipalidades entre otras. Esta red tiene una longitud aproximada de entre 7,000 y 12,000 kms. (Red Vial de Honduras, 2016)

Según Honduras en sus manos (2016) las principales carreteras de Honduras son las siguientes:

- Carretera Panamericana
- Carretera de Occidente CA-4
- Carretera del Norte CA-5
- Carretera del Sur CA-5
- Carretera de Oriente CA-6
- Carretera Puerto Cortés – Guatemala CA-13
- Carretera San Pedro Sula – La Ceiba – CA-13
- Carretera La Ceiba – Trujillo – CA-13
- Carretera a Olancho
- Carretera San Pedro Sula – El Progreso
- Carretera El Progreso – Yoro



**Ilustración 11. Mapa de Carreteras donde se ubicarán los Centros de Carga en Honduras**

Fuente: Elaboración propia con ArcMap, Honduras en sus manos y calculador de distancias

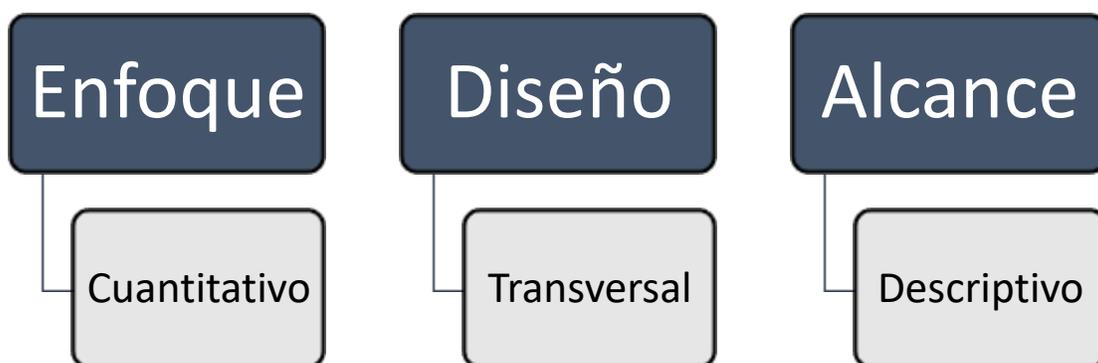
## IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentarán los procedimientos y métodos necesarios para definir las variables de la investigación. También se presentan los instrumentos y programas utilizados en la investigación.

### 4.1. ENFOQUE

En la presente investigación se tiene un enfoque cuantitativo, ya que es secuencial, ¿A qué nos referimos con secuencial? La investigación lleva un orden en el cual no podemos avanzar al paso dos sin haber realizado el paso uno, se tienen objetivos con sus respectivas preguntas de investigación que deben ir realizándose y respondiendo en orden para de tal manera poder culminar la investigación de manera exitosa.

La investigación consta de un diseño transversal, ya que se desea ver cómo evolucionaría o como se reflejaría a futuro una cierta cantidad de vehículos eléctricos, por ende, queremos observar cómo serán nuestras variables en un futuro con ciertos escenarios y ver qué tipo de cambios habría a futuro, cómo la disminución toneladas métricas de CO<sub>2</sub>.



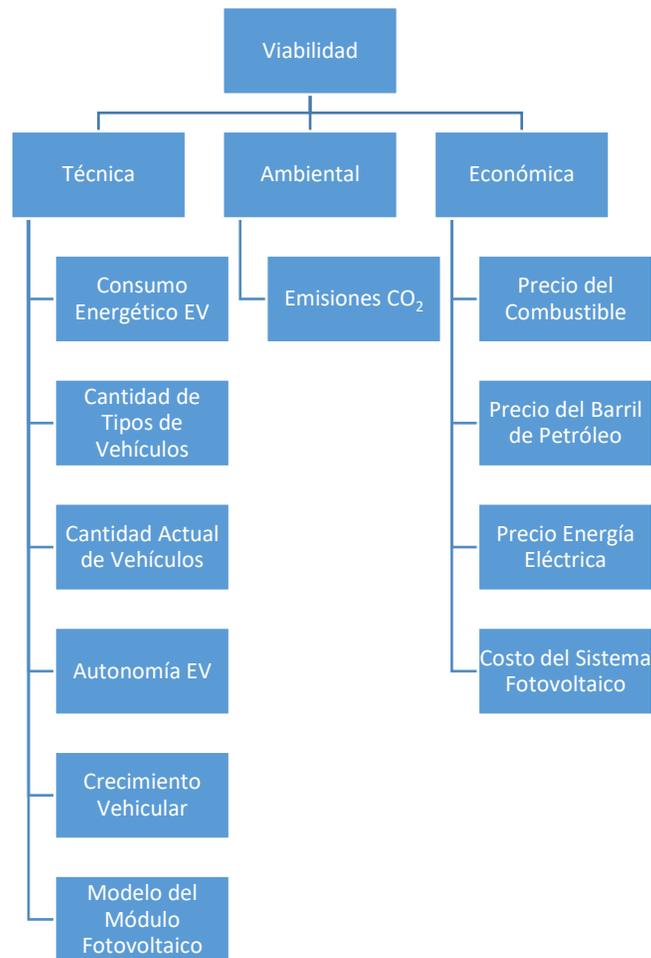
**Ilustración 12. Esquema metodológico de la Investigación**

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

### 4.2.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

A continuación, en la ilustración 13 se encuentran las variables independientes de la investigación, estas variables no dependen de ninguna otra variable para su validación.



**Ilustración 13. Mapa Conceptual de Variables Independientes**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5: Definición de Variables Independientes**

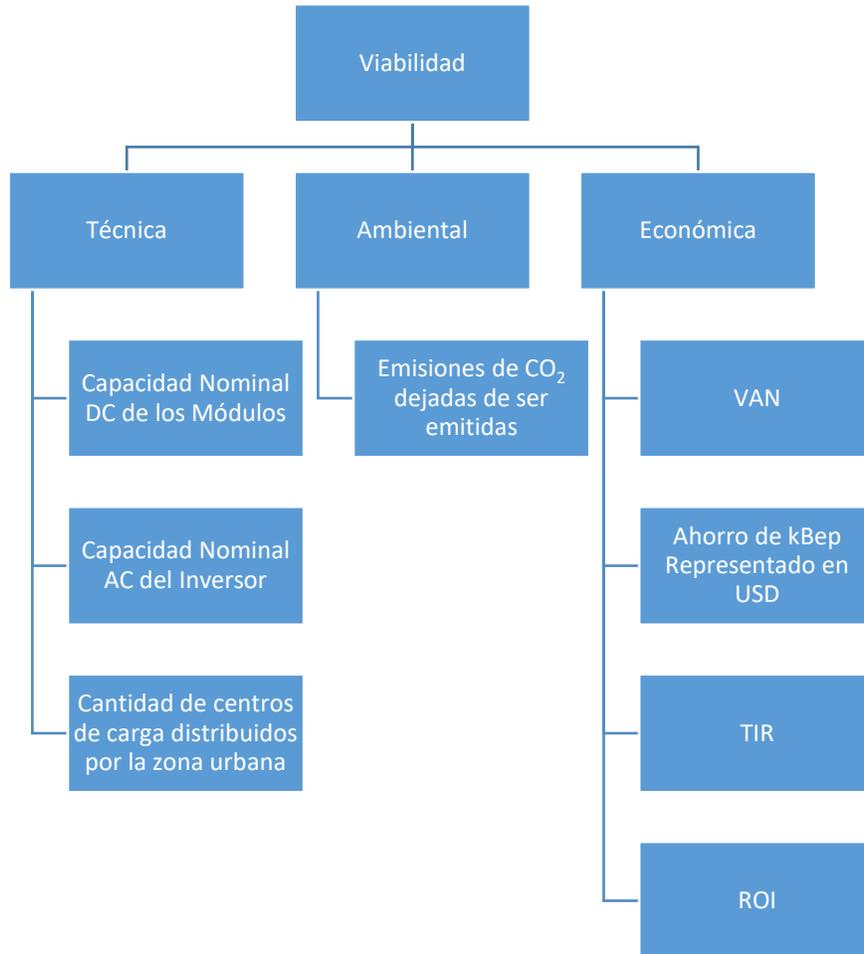
Variable Independiente	Definición
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo Energético EV</li> </ul>	<p>El tipo de consumo de los vehículos eléctricos se determina por la cantidad de energía eléctrica que el vehículo consume respecto a una cierta distancia.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomía EV</li> </ul>	<p>Un vehículo eléctrico puede recorrer una cierta distancia hasta que necesite volver a ser cargado por lo cual podemos determinar la autonomía del vehículo eléctrico por una distancia recorrida.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad Actual de Vehículos</li> </ul>	<p>Es el total de vehículos en Honduras registrado hasta la fecha.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de Tipos de Vehículos</li> </ul>	<p>Es el total de vehículos en Honduras, pero repartido entre los diferentes tipos que serían</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Pick Up y Jeep</li> <li>o Turismo</li> <li>o Motocicletas</li> <li>o Camionetas de lujo y de trabajo</li> <li>o Camión</li> <li>o Buses y Similares</li> <li>o Vehículos Pesados</li> <li>o Otras Categorías</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento Vehicular</li> </ul>	Es el porcentaje que representa de cómo se ve el crecimiento vehicular año tras año.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiación Solar</li> </ul>	Mientras más alto sea el nivel de radiación, se tendrá un nivel más alto de energía eléctrica.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo del Módulo Fotovoltaico</li> </ul>	Es la potencia nominal de cada módulo fotovoltaico que será utilizado en el sistema fotovoltaico.
Ambiental	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub></li> </ul>	
Económica	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio del Combustible</li> </ul>	Es el valor de la gasolina y diésel en Honduras representado en HND-Galón.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio del Barril de Petróleo</li> </ul>	Valor en USD por la importación de un barril de petróleo.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio Energía Eléctrica</li> </ul>	Valor en lempiras que representa el valor referenciado al consumo de energía eléctrica.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo del Sistema Fotovoltaico</li> </ul>	Es el costo total de la implementación de un sistema fotovoltaico capaz de abastecer la carga de un vehículo totalmente eléctrico.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida Útil del Sistema Fotovoltaico</li> </ul>	Es el tiempo de vida útil en años en el que el sistema fotovoltaico podrá alimentar un vehículo eléctrico.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2.2. VARIABLES DEPENDIENTES

A continuación, en la ilustración 14 se muestran las variables que dependen de otra para ser calculadas. Estas variables serán medidas luego de recolectar los datos que cada una requiera para ser resuelta.



**Ilustración 14. Mapa Conceptual de Variables Dependientes**

Fuente: Elaboración propia

## 4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En esta sección incluimos las técnicas e instrumentos que fueron utilizados para realizar esta investigación y se da una explicación de porque se utilizaron.

#### 4.3.1. LEAP

LEAP es el software que se utilizará en la investigación para poder realizar simulaciones a futuro con las políticas energéticas que se establecieron para la investigación. LEAP nos ayudará a evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de kBep para el año 2050.

#### 4.3.2. ARCGIS

El software de ArcGIS-ArcMap se utilizará en la investigación el fin de poder crear un mapa de Honduras donde con símbolos se tengan asignados los diversos centros de carga repartidos por la zona urbana del país.

#### 4.3.3. EXCEL

La hoja de cálculo Excel será utilizada como una memoria de cálculo en la que se desarrollaran diversos promedios, proyecciones y cálculos, además se utilizara para la formulación de gráficos y tablas que sean vistas en esta investigación.

#### 4.3.4. HELIOSCOPE

El software de Helioscope será utilizado para el diseño del sistema solar fotovoltaico que tendrá como fin poder cargar un vehículo eléctrico.

### **4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La investigación abarca completamente el territorio hondureño perteneciente a Honduras un país localizado en centro América.

### **4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

#### 4.5.1. RECOPIACIÓN DE DATOS PARA LEAP

Una vez definido el objetivo principal de la investigación se empezó con la recopilación de datos necesarios que serán utilizados para cálculos y proyecciones a futuro. A continuación, se listarán las fuentes primarias de donde se obtuvieron los datos que hicieron posible la simulación en LEAP.

#### 4.5.2. FUENTES PRIMARIAS

La mayoría de los datos utilizados en esta investigación provienen de documentos proporcionados por la Secretaría de Estado en el Despacho de Energía (SEN) de Honduras y por el Instituto Nacional de Estadística (INE) de Honduras. Los documentos que proporcionaron los datos más necesarios son EL PARQUE VEHICULAR EN HONDURAS 2006-2010, EL PARQUE VEHICULAR EN HONDURAS 2011-2015, EL PARQUE VEHICULAR EN HONDURAS 2016-2020, ESTADÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES HONDURAS 2011-2015, ESTADÍSTICA DE LOS COMBUSTIBLES HONDURAS 2006-2010 y el BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL 2019.

#### 4.5.3. PROCEDIMIENTO DE LEAP

Una vez realizada la recopilación de datos obtenemos los datos necesarios para empezar la configuración dentro del software LEAP. Cabe destacar que se utilizarán datos del BEN 2019 y del parque vehicular 2019 ya que el BEN solo proporciona datos de consumo de kBep en el sector transporte para el año de 2019. Los datos necesarios para el escenario base en LEAP son los siguientes:

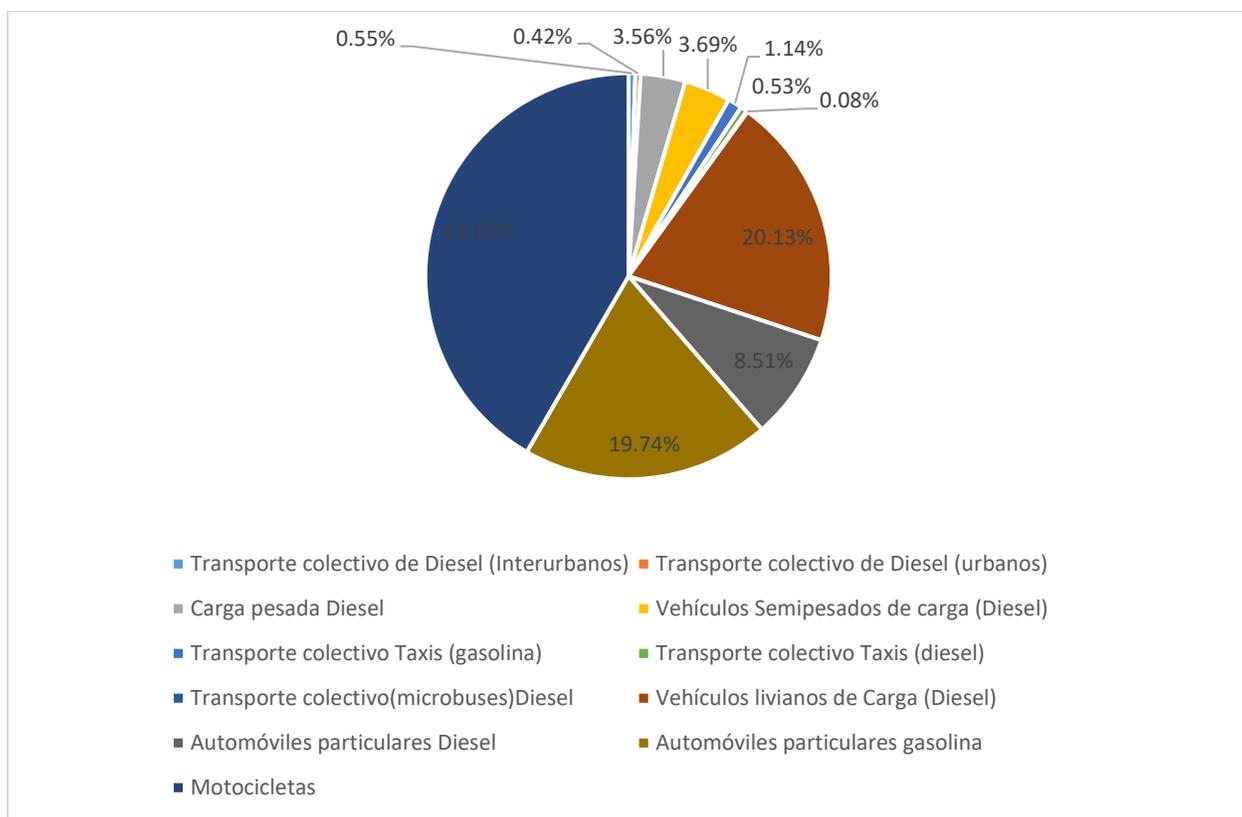
- Cantidad actual de vehículos registrados en Honduras para el Año 2019, que se verá representada en el software LEAP de la siguiente manera como aparece en la ilustración 15.

Branch	Expression	Scale	Units
▶ Vehiculos	2.062474	Million	Vehicle

#### **Ilustración 15. Cantidad de Vehículos Registrados en Honduras al Año 2019**

Fuente: Elaboración propia con datos del Parque Vehicular de Honduras 2019

- Los porcentajes en cómo se dividen los tipos de vehículos registrados en Honduras. Los tipos de vehículos son los siguientes:



**Ilustración 16. Tipos de Vehículos Registrados Utilizados para la Configuración de LEAP**

Fuente: Elaboración propia con LEAP

- La intensidad energética final de los vehículos que utilizan gasolina y diésel, este dato lo representamos en miles de barriles equivalentes de petróleo.
  - Transporte Colectivo (Interurbano) Diésel

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, el transporte colectivo interurbano diésel representa aproximadamente el 0.546% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo de transporte colectivo interurbano diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.1345 kBep.

- Transporte Colectivo (Urbano) Diesel

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, el transporte colectivo urbano diésel representa aproximadamente el 0.418% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo de transporte colectivo urbano diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0441 kBep.

- Transporte Colectivo (Microbuses) Diésel

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, el transporte colectivo microbuses diésel representa aproximadamente el 0.081% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo de transporte colectivo microbuses diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0143 kBep.

- Transporte Colectivo de Taxis (Gasolina)

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, el transporte colectivo de taxis gasolina representa aproximadamente el 1.136% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo de transporte colectivo de taxis gasolina logra consumir en un año el aproximado a 0.01644 kBep.

- Transporte Colectivo de Taxis (Diesel)

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, el transporte colectivo de taxis diésel representa aproximadamente el 0.533% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo de transporte colectivo de taxis diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0153 kBep.

- Transporte de Carga Pesada (Diesel)

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, el transporte de carga pesada diésel representa aproximadamente el 3.562% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo de transporte de carga pesada diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0192 kBep.

- Vehículos Semipesados de Carga (Diesel)

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, los vehículos semipesados de carga diésel representan aproximadamente el 3.693% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo semipesado de carga diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0180 kBep.

- Vehículos Livianos de Carga Diésel

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, los vehículos livianos de carga diésel representan aproximadamente el 20.134% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada vehículo liviano de carga diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0054 kBep.

- Automóviles Particulares Diésel

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, los automóviles particulares diésel representan aproximadamente el 8.507% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada automóvil particular diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.00318 kBep.

- Automóviles Particulares Gasolina

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, los automóviles particulares gasolina representan aproximadamente el 19.742% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada automóvil particular gasolina logra consumir en un año el aproximado a 0.00248 kBep.

- Motocicletas

La flota vehicular de Honduras es de 2,062,474 vehículos para el año 2019, las motocicletas representan aproximadamente el 41.650% de la flota vehicular. Luego de realizar estimaciones cada motocicleta logra consumir en un año el aproximado a 0.0011 kBep.

Una vez obtenidos estos datos, podemos empezar con el escenario propuesto de un sector transporte completamente eléctrico para el año 2050. Para este escenario se utilizan los datos a continuación:

- Crecimiento anual vehicular el cual definimos realizando un promedio del crecimiento vehicular en Honduras de los años 2010-2020
- La intensidad energética final del sector transporte completamente eléctrico., este dato será representado en kilovatio-hora por vehículo al año.

**Tabla 6 Estimación del consumo energético promedio por tipo de vehículo**

Tipo de Vehículo	Promedio de Consumo Anual (gal/vehículo)	Cantidad de Vehículos	Consumo Anual Galones	Porcentaje	Promedio de Consumo Anual (kBep/Tipo de Vehículo)	Promedio de Consumo Anual (kBep/Vehículo)
Transporte colectivo de Diesel (Interurbanos)	11,830	11,256	133,159,331.17	15.10%	1513.7	0.1345
Transporte colectivo de Diesel (urbanos)	3,877	8,626	33,444,037.08	3.79%	380.2	0.0441
Carga pesada Diesel	1,690	73,462	124,150,626.36	14.08%	1411.3	0.0192
Vehículos Semipesados de carga (Diesel)	1,584	76,172	120,656,304.00	13.69%	1371.6	0.0180
Transporte colectivo Taxis (gasolina)	1,446	23,427	33,875,940.24	3.84%	385.1	0.0164
Transporte colectivo Taxis (diesel)	1,357	10,990	14,913,366.04	1.69%	169.5	0.0154
Transporte colectivo(microbuses )Diesel	1,259	1,662	2,092,343.55	0.24%	23.8	0.0143
Vehículos livianos de Carga (Diesel)	477	415,253	198,075,637.64	22.47%	2251.7	0.0054
Automóviles particulares Diesel	280	175,449	49,125,778.55	5.57%	558.4	0.0032
Automóviles particulares gasolina	218	407,166	88,762,102.78	10.07%	1009.0	0.0025
Motocicletas	97	859,011	83,324,058.18	9.45%	947.2	0.0011
Total		2,062,474.00	881,579,525.59	100%		

Fuente: Elaboración Propia con datos del INE 2019, Parque Vehicular 2020 y el Diagnóstico Energético del sector Transporte de la SERNA

Finalmente, luego de haber configurado el escenario base y el escenario con camionetas eléctricas para el año 2050, podemos pasar a la parte de la simulación. En la simulación podremos observar lo siguiente:

- La diferencia en miles de barriles equivalentes de petróleo que dejarían de ser consumidos por el sector transporte si se tuviera un sector transporte completamente eléctrico.
- La diferencia en toneladas métricas equivalentes de CO<sub>2</sub> que dejarían de ser consumidos por el sector transporte si se tuviera un sector transporte completamente eléctrico.

Al haber terminado el uso del software de LEAP para obtener los datos que se necesitaban podemos realizar los cálculos para determinar cuál es el ahorro económico que tendría Honduras el dejar de importar ese producto. En este cálculo solo se realizaría la multiplicación de precio del barril de petróleo por la cantidad de barriles equivalentes de petróleo.

#### 4.5.4. RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar el análisis económico de la introducción de los vehículos es necesario obtener los siguientes datos:

- Autonomía de los vehículos eléctricos en zonas urbanas.
- Autonomía de los vehículos convencionales en zonas urbanas que serán comparados.
- Distancia promedio que recorre un vehículo convencional al día en Honduras.
- Precio de los vehículos que serán comparados.
- Precio actual del combustible de cada vehículo.
- Precio actual de la tarifa eléctrica en el sector residencial.

#### 4.5.5. FUENTES PRIMARIAS

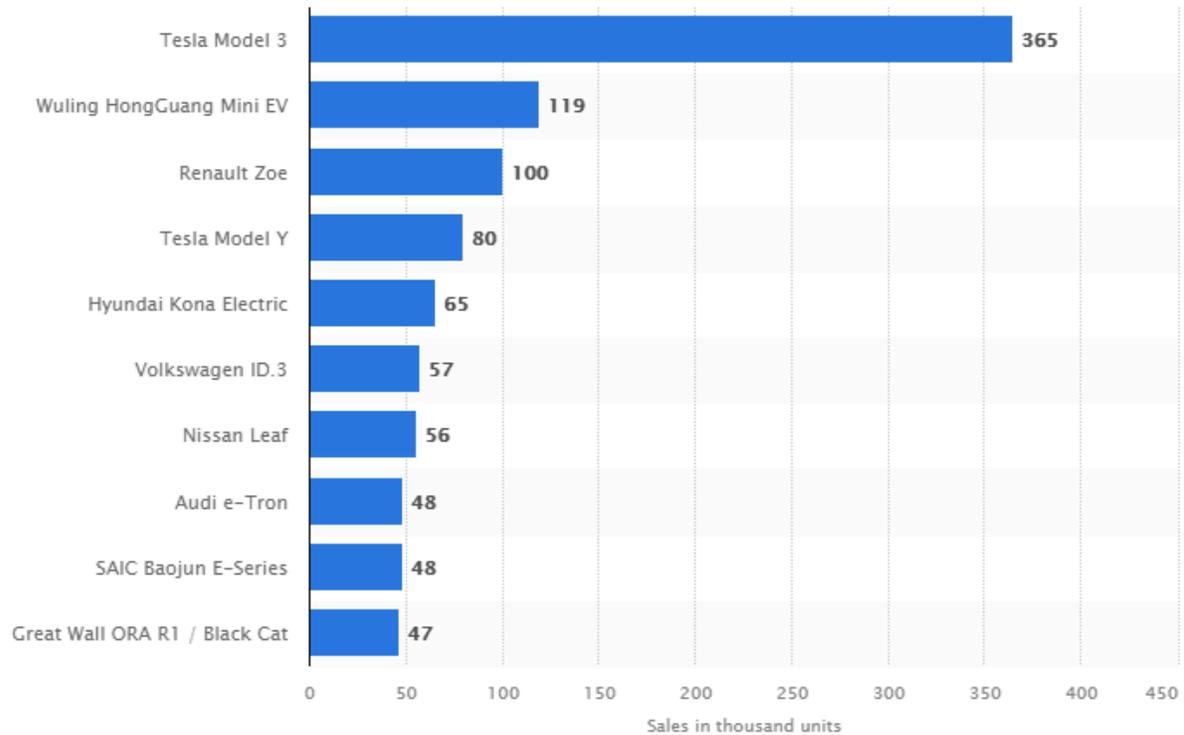
Los datos de la autonomía de cada vehículo evaluado y sus precios serán brindados por cada una de las empresas automotrices. La distancia promedio que recorre un vehículo convencional al año en Honduras según La Prensa (2018) es de 22,531 km. El precio actual del combustible de los vehículos convencionales según Global Petrol Prices (9 de agosto del 2021) el precio de la gasolina por litro en Honduras es de L. 27.68. Según la CREE (2021) la tarifa eléctrica en el sector residencial vigente al mes de julio 2021 es de L. 4.7902 el kWh.

#### 4.5.6. PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS ECONÓMICO

Primero que nada, debemos seleccionar los vehículos que estaremos evaluando. Para la selección de los vehículos eléctricos que deseamos introducir primero debemos observar los requerimientos que debe cumplir el vehículo. Según el INE (2019) el promedio de miembros por familia en Honduras es de 4.4 personas, entonces es necesario que el vehículo tenga capacidad para un mínimo de 5 plazas. La siguiente característica que debe cumplir el vehículo es que tenga opción de carga rápida para poder utilizar los centros de carga rápida en carretera para viajes largos. Para realizar este análisis se utilizó la lista de los modelos de vehículos eléctricos más vendidos a nivel mundial para la selección del vehículo. (Referirse a ilustración 17) Una vez con esta lista seleccionamos los siguientes vehículos eléctricos:

- Renault Zoe Life E-TECH 2021
- Hyundai Kona Electric 2022
- Volkswagen ID.3 2021
- Nissan Leaf Acenta 2021

Se seleccionaron estos vehículos de la lista de la ilustración 17 por varias razones. Primero que nada, todos cumplen con los requerimientos previamente previstos. Segundo todos son considerados SUVs o SUVs compactas, es decir camionetas o camionetas compactas mientras que otros modelos de la lista caen en la categoría de sedanes. También existe el factor económico, ya algunos modelos de la lista son considerados de alta gama al tener opciones de manejo automático, es decir donde el conductor no tiene que hacer nada solo colocar la dirección donde desea ir en el GPS del vehículo u opciones como las puertas de tijera que estas son las que rotan verticalmente y se abren hacia arriba. Este tipo de características eleva el precio de estos vehículos y por lo tanto decidimos no evaluarlos, ya que consideramos estas categorías son más un lujo del vehículo al no afectar la autonomía de este.



**Ilustración 17. Modelos de vehículos eléctricos más vendidos a nivel mundial 2020 (Ventas en miles)**

**Fuente: Statista (2020)**

A continuación, se seleccionarán cuatro vehículos convencionales último modelo para hacer la comparación del precio y autonomía de estos con respecto al vehículo eléctrico que escogeremos.

Con estos datos se realizará el cálculo financiero para la compra de los cinco vehículos por medio de un préstamo de un banco y optando por una prima del 10% del valor final de cada vehículo. En el caso de los vehículos eléctricos se añadirá el costo del puerto de carga rápida de ser necesario y del punto de recarga físico instalado en la pared (Wallbox). Luego se realizará el cálculo del costo de combustible por año de cada vehículo utilizando el precio actual de la gasolina o diésel, esto dependiendo del combustible que utilice cada uno de los cuatro vehículos convencionales, y la tarifa eléctrica vigente en el caso del vehículo eléctrico. Para esto será necesario obtener la autonomía en zonas urbanas de cada uno de los vehículos que estaremos evaluando la cual será brindada por cada una de las empresas automotrices. El costo por uso de

combustible se calculará usando el promedio de kilómetros que recorre un vehículo de uso común en Honduras al año. De esta manera obtendremos cuál es el ahorro que brinda un vehículo eléctrico en cuanto a costo de combustible durante su vida útil.

#### 4.5.7. RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL MODELADO DEL MAPA CON LOS CENTROS DE CARGA

Para realizar este mapa de los centros de carga en las carreteras principales de Honduras son necesarios los siguientes datos:

- Autonomía del vehículo eléctrico en carretera.
- Lista de la Red vial Primaria en Honduras.
- Distancia de cada una de las carreteras de la Red vial Primaria en Honduras.

Al obtener estos datos podemos avanzar para determinar en qué lugares estarían distribuidos los centros de carga en tramos largos cuando se requiera viajar de una ciudad a otra.

#### 4.5.8. FUENTES PRIMARIAS

La autonomía del vehículo eléctrico en carretera será calculada por medio del programa de simulación que brinda la empresa automotriz del vehículo. La lista de las carreteras que conforman la Red vial Primaria en Honduras será tomada de la página web Honduras en sus manos.

#### 4.5.9. PROCEDIMIENTO PARA EL MODELADO DEL MAPA CON LOS CENTROS DE CARGA

Para esto primero seleccionaremos cuáles son las carreteras principales de la Red vial Primaria en Honduras. Una vez seleccionadas estas carreteras se medirá la distancia de cada una de estas carreteras entre una ciudad y otra. Luego se dividirá la distancia de cada carretera por la autonomía del vehículo eléctrico con su carga al cien por ciento para saber cuál es el número mínimo de centros de cargas necesarios para cada carretera. Una vez obtengamos este dato se colocará la ubicación de cada centro de carga en un mapa de Honduras utilizando ArcMap.

#### 4.5.10. RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

El sistema solar fotovoltaico propuesto en esta investigación deberá tener los parámetros para poder cargar un vehículo eléctrico con una batería de alrededor de 40kWh y que recorra un aproximado de 22,531 km al año. Para esto se ha realizado un diseño considerando una irradiación horizontal anual de alrededor de los 1,800 kWh/m<sup>2</sup>, este promedio fue obtenido a analizar los datos de la ilustración 18.



**Ilustración 18. Irradiación Horizontal Normal de Honduras**

Fuente: Solargis

Para el diseño del sistema fotovoltaico se estaría tomando en cuenta el uso y el no uso de un sistema de almacenamiento que sea capaz de otorgar al usuario la disponibilidad de realizar una carga completa del vehículo cuando lo necesite.

#### 4.6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Las actividades realizadas durante esta investigación se muestran en la siguiente tabla las cuales se dividieron en 10 semanas.

**Tabla 7 Cronograma de Actividades**

Actividades	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción										
Planteamiento del Problema										
Marco Teórico										
Metodología										
Resultados y Análisis										
Conclusiones										
Recomendaciones										

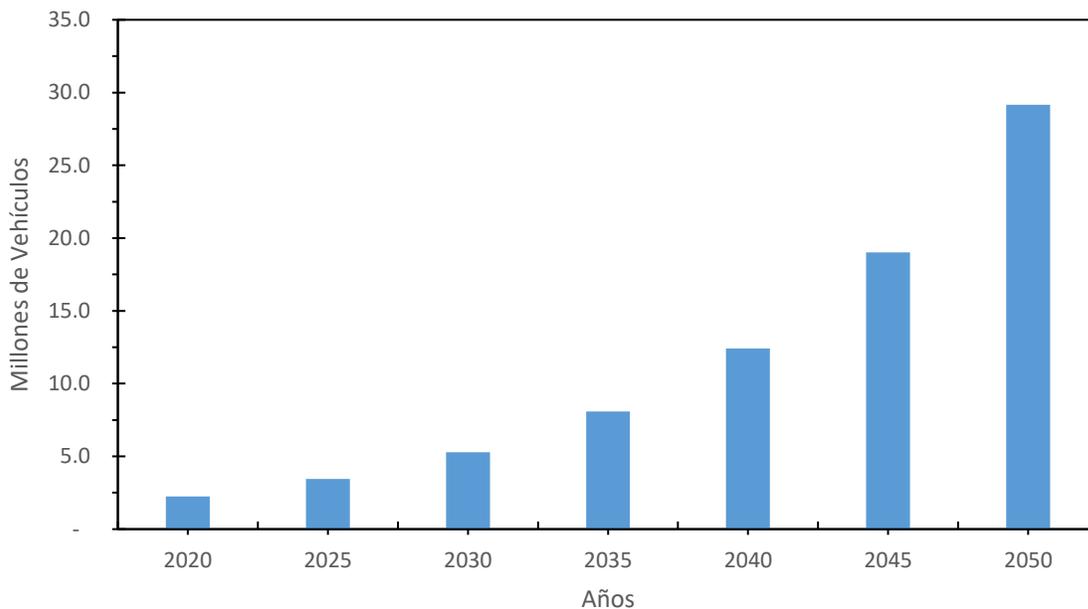
Fuente: Elaboración Propia

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados de las simulaciones de LEAP, el análisis económico de los vehículos eléctricos y las limitaciones de la investigación. Esto con el fin de responder las preguntas de la investigación.

### 5.1. ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO EN LEAP

Una vez finalizada la recolección de datos para realizar la simulación de LEAP, obtenemos que para el año 2050 se estima una flota vehicular de 29.2 millones de vehículos registrados en Honduras como se muestra en la ilustración 19, esta fue obtenida por el crecimiento anual promedio del parque vehicular de Honduras desde el año 2006 como se puede apreciar en la ilustración 20.



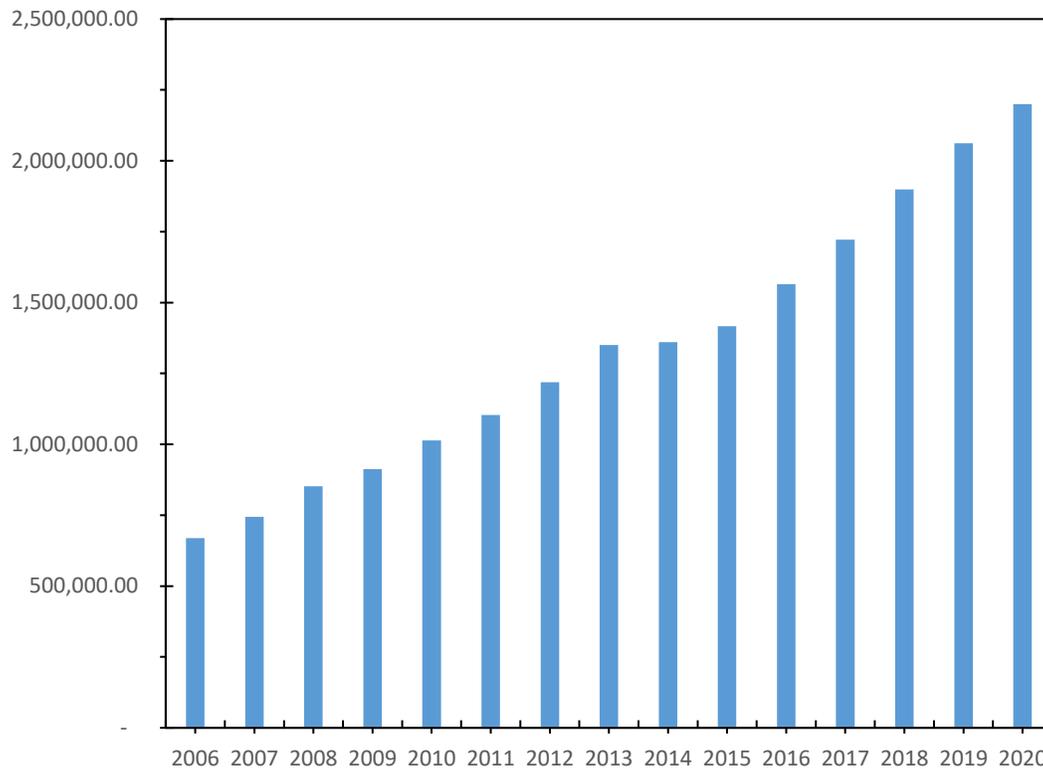
**Ilustración 19. Millones de Vehículos Registrados por Año en Honduras**

Fuente: Gráfica obtenida a través de simulación con LEAP

**Tabla 8: Cantidad de Vehículos por Año desde 2006-2020 con su tasa de crecimiento**

<b>Año</b>	<b>Vehículos Registrados</b>	<b>Tasa de Crecimiento</b>
2006	669,120.00	
2007	744,008.00	11%
2008	852,605.00	15%
2009	912,357.00	7%
2010	1,013,184.00	11%
2011	1,103,191.00	9%
2012	1,219,530.00	11%
2013	1,350,136.00	11%
2014	1,360,291.00	1%
2015	1,416,678.00	4%
2016	1,564,684.00	10%
2017	1,721,640.00	10%
2018	1,899,232.00	10%
2019	2,062,474.00	9%
2020	2,200,037.00	7%
<b>Crecimiento Promedio</b>		<b>8.9%</b>

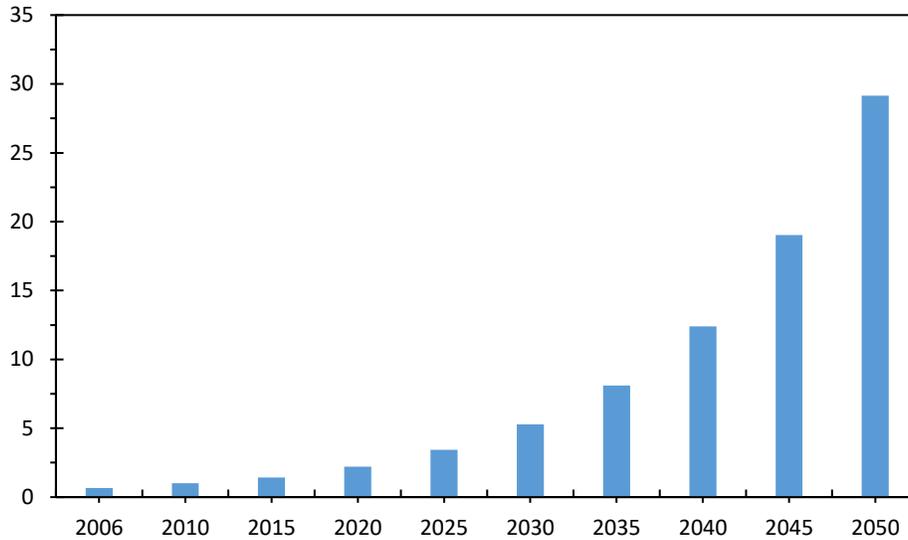
Fuente: Elaboración propia con datos del Parque Vehicular 2006-2020



**Ilustración 20. Cantidad de Vehículos desde 2006-2020 en Honduras**

Fuente: Elaboración propia con datos del Parque Vehicular 2006-2020

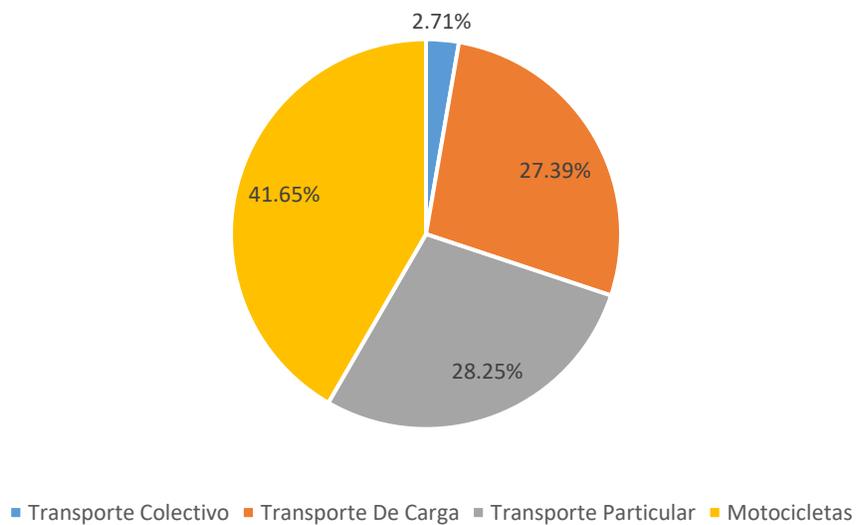
Como podemos ver en la ilustración 20. A continuación se muestra la cantidad de vehículos registrados en Honduras para el año 2006 continuamente hasta el año 2020 donde podemos observar que siguen una secuencia de crecimiento.



**Ilustración 21. Cantidad de Vehículos Registrados por Año de 2006 hasta 2050**

Fuente: Elaboración propia con LEAP y datos del Parque Vehicular 2006-2020

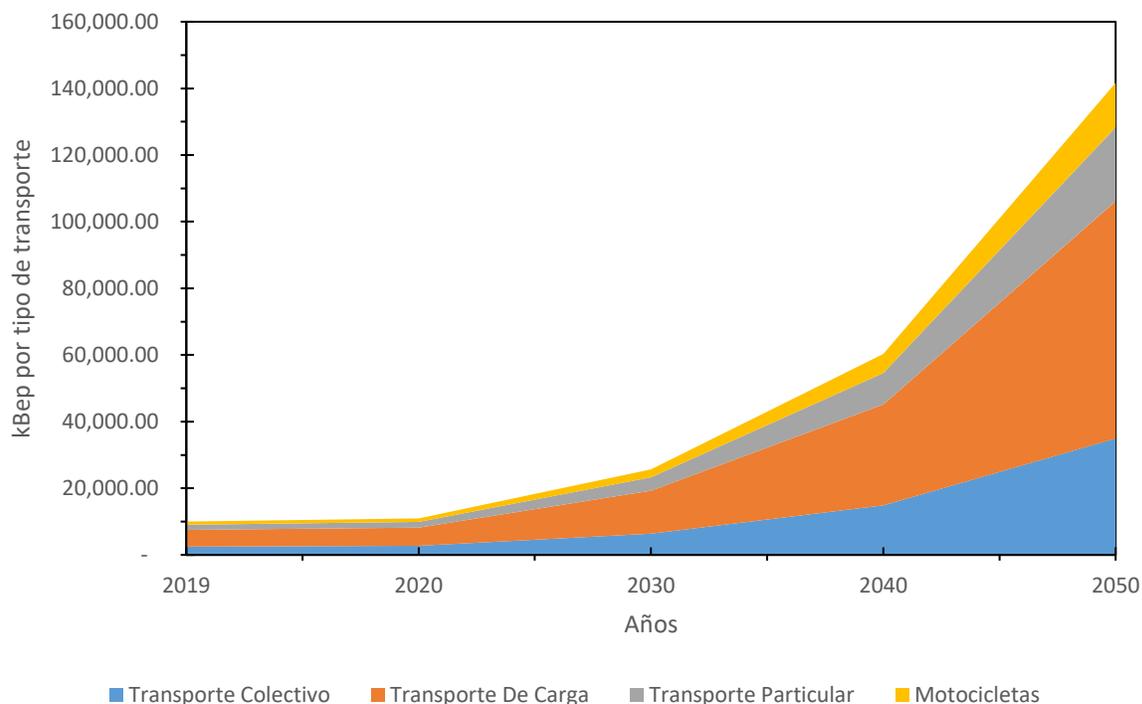
Ya que uno de los objetivos se basa en tener un sector transporte público completamente eléctrico, una vez dicho esto tenemos que el sector de transporte público abarca aproximadamente el 2.7% de la flota vehicular como se puede observar en la ilustración 22. dentro de estos vehículos se incluye el transporte colectivo urbano e interurbano, también incluye los microbuses y los taxis.



**Ilustración 22. Porcentaje de Tipo de Transporte**

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos a través de simulación con LEAP

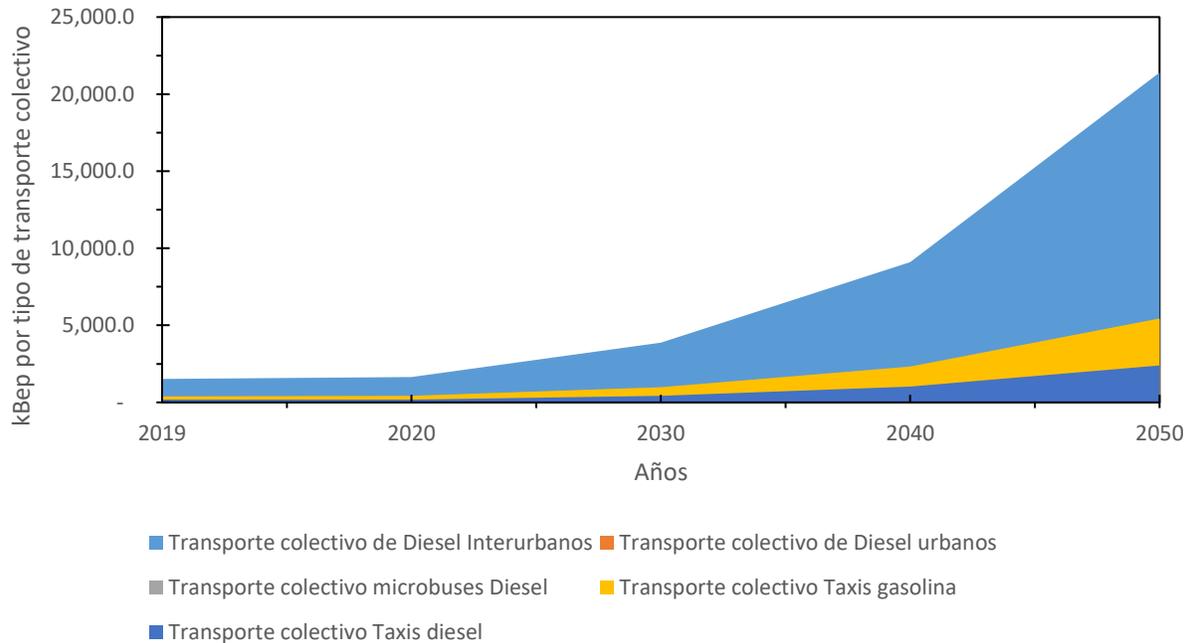
Una vez obtenido que el sector de transporte público abarca aproximadamente el 2.7% de la flota vehicular, tenemos que ese 2.7% es responsable de aproximadamente el 24.67% del total de kBep consumidos por el sector transporte de Honduras.



### Ilustración 23. Cantidad de kBep consumida por tipo de transporte

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos a través de simulación con LEAP

El estimado de 24.67% del total de kBep consumidos por el sector transporte de Honduras se puede representar como 2,602.4 kBep de los 10,549 kBep del año 2019 o lo podemos interpretar como 36,788.8 kBep de los 149,124.2 kBep (referirse a la ilustración 24.) que tendría previsto como consumo del sector transporte para el año 2050.



## Ilustración 24. Cantidad de Kbep por tipo de transporte colectivo

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos a través de simulación con LEAP

El consumo estimado de 36,788.8 kBep para el año 2050 a día de hoy con el precio del barril de petróleo que ronda los \$60, estaríamos hablando de aproximadamente \$2.2B. De tal manera podemos entender que si para el año 2050 el país tuviese un sector transporte completamente eléctrico, para ese entonces el país se habrá ahorrado un aproximado de \$2.2B.

## 5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Los vehículos eléctricos que seleccionamos fueron el Renault Zoe Life E-TECH 2021, el Hyundai KONA Electric 2022, el Nissan Leaf ACENTA 2021 y el Volkswagen ID.3 2021. Estos son vehículos eléctricos que cumplen con los siguientes requerimientos:

- Capacidad de 5 plazas.
- Opción de Carga Rápida.

Luego seleccionamos cuatro vehículos convencionales de las marcas más vendidas en Honduras en su versión estándar sin ninguna modificación. Los vehículos que seleccionamos fueron los siguientes:

- Honda CR-V 2021
- Ford Escape 2021
- Toyota Rav4 2020
- Kia Sorento 2021

Una vez con esta lista se realizó la cotización de los cuatro vehículos convencionales y de los cuatro vehículos eléctricos para el cual fue necesario agregar la opción de carga rápida en un caso, la cual tiene un costo adicional en el precio del vehículo, y de una Wallbox para una carga más segura en casa.

**Tabla 9: Costo Total de los vehículos convencionales evaluados**

Vehículos	Precio USD	Precio L	Costo Total
Honda CR-V 2021	\$ 25,350.00	L 601,809.00	L 601,809.00
Ford Escape 2021	\$ 25,555.00	L 606,675.70	L 606,675.70
Toyota Rav4 2020	\$ 34,800.00	L 826,152.00	L 826,152.00
Kia Sorento 2021	\$ 29,390.00	L 697,718.60	L 697,718.60

Fuente: Elaboración propia con datos de Honda, Ford, Toyota, Kia y Renault

**Tabla 10: Costo Total de los vehículos eléctricos evaluados**

Vehículos	Precio USD	Precio L	Costo Carga Rápida	Costo Wallbox	Costo Total
Hyundai KONA Electric 2022	\$ 35,185.00	L 835,291.90	L -	L 17,282.72	L 852,574.62
Nissan Leaf ACENTA 2021	\$ 32,609.65	L 774,153.09	L -	L 16,882.70	L 791,035.79
Volkswagen ID.3 2021	\$ 34,800.00	L 826,152.00	L -	L 13,528.71	L 839,680.71
Renault ZOE E-TECH 2021	\$ 31,978.00	L 759,157.72	L 30,790.78	L 17,282.72	L 807,231.22

Fuente: Elaboración propia con datos de Hyundai, Nissan, Volkswagen y Renault

Luego de esto, se calculó el costo anual de combustible para cada uno de los vehículos en zonas urbanas. Para esto fue necesaria la autonomía de cada uno de los vehículos en esta condición. Este dato fue brindado por cada una de las empresas automotrices.

**Tabla 11: Autonomía de los vehículos convencionales en zonas urbanas**

Vehículos	Capacidad del Tanque [L]	Autonomía [km]
Honda CR-V 2021	53	504
Ford Escape 2021	59	525
Toyota Rav4 2020	55	704
Kia Sorento 2021	67	556

Fuente: Elaboración propia con datos de Honda, Ford, Toyota y Kia

La autonomía de la mayoría de los vehículos eléctricos fue brindada por cada una de las empresas automotrices a excepción del Renault Zoe E-TECH en el cual la empresa brinda un sistema de simulación para obtener una autonomía más parecida a nuestro estilo de manejo.

**Tabla 12: Autonomía de los vehículos eléctricos en zonas urbanas**

Vehículos	Capacidad de Batería [kWh]	Autonomía [km]
Hyundai KONA Electric 2022	64	660
Nissan Leaf ACENTA 2021	40	270
Volkswagen ID.3 2021	45	330
Renault ZOE E-TECH 2021	40	265

Fuente: Elaboración propia con datos de Hyundai, Nissan, Volkswagen y Renault

Para la simulación del Renault Zoe E-TECH se utilizaron los siguientes parámetros:

- Velocidad Promedio: 50 km/h
- Temperatura: 35 °C
- ECO mode: Encendido
- Climatización: Encendida

Se utilizó una velocidad promedio de 50 km/h debido a que es el promedio de la velocidad permitida según la Ley de Tránsito (2005) de Honduras en zonas urbanas. En el caso de la

temperatura el sistema de simulación solo ofrece las opciones de 20 °C y 35 °C, por lo cual escogimos la temperatura más alta, ya que es la resta más autonomía al vehículo.

Según La Prensa (2018) los vehículos de uso común en Honduras recorren una distancia de 14,000 millas por año lo cual equivale a 22,531 kilómetros. Por lo cual utilizamos este dato para calcular la cantidad de veces que será necesario recargar la batería del vehículo eléctrico y llenar el tanque de combustible de los vehículos convencionales por año. Los precios de la gasolina por litro que usamos son del 9 de agosto del 2021 y para el vehículo eléctrico la tarifa eléctrica vigente del mes de julio de 2021 en servicio residencial. (Referirse a las tablas 11 y 12)

**Tabla 13: Precio de la gasolina en Honduras, 9 de agosto 2021**

Moneda	Litro		Galón	
Lempira [HNL]	L	27.17	L	102.84
Dólar estadounidense [USD]	\$	1.14	\$	4.33
Euro [EUR]	€	0.97	€	3.69

Fuente: Global Petrol Prices

**Tabla 14: Tarifa Eléctrica Vigente del mes de julio 2021**

SERVICIO	Cargo Fijo	Precio de la Potencia	Precio de la Energía
	L/abonado-m	L/kW-mes	L/kWh
<b>Servicio Residencial</b>			
Consumo de 0 a 50 kWh/mes	56.09		3.6812
Consumo mayor de 50 kWh/mes	56.09		
Primeros 50 kWh/mes			3.6812
Siguientes kWh/mes			4.7902
<b>Servicio General en Baja Tensión</b>	56.09		4.8105
<b>Servicio en Media Tensión</b>	2,404.63	302.8323	2.9996
<b>Servicio en Alta Tensión</b>	6,011.58	261.4299	2.8166

Fuente: CREE

Estos datos nos permitieron realizar el cálculo del costo de combustible anual para cada uno de los ocho vehículos evaluados.

**Tabla 15: Cantidad de llenados del tanque de los vehículos convencionales al año**

Vehículos	Capacidad del Tanque [L]	Autonomía [km]	Distancia Recorrida al año [km]	Cantidad de llenados del tanque al año
Honda CR-V 2021	53	504	22,531	44.749
Ford Escape 2021	59	525	22,531	42.908
Toyota Rav4 2020	55	704	22,531	32.004
Kia Sorento 2021	67	556	22,531	40.516

Fuente: Elaboración propia con datos de Honda, Ford, Toyota, Kia y La Prensa

**Tabla 16: Cantidad de recargas de las baterías de los vehículos eléctricos al año**

Vehículos	Capacidad de Batería [kWh]	Autonomía [km]	Distancia Recorrida al año [km]	Cantidad de cargas al año
Hyundai KONA Electric 2022	64	660	22,531	34
Nissan Leaf ACENTA 2021	40	270	22,531	83
Volkswagen ID.3 2021	45	330	22,531	68
Renault ZOE E-TECH 2021	40	265	22,531	85

Fuente: Elaboración propia con datos de Hyundai, Nissan, Volkswagen, Renault y La Prensa

**Tabla 17: Costo Anual de Combustible de cada uno de los vehículos convencionales**

Vehículos	Tipo de Combustible	Autonomía [km]	Precio del Combustible	Cantidad de llenados del tanque al año	Costo Anual de Combustible
Honda CR-V 2021	Gasolina	504	L 27.17	44.749	L 64,433.92
Ford Escape 2021	Gasolina	525	L 27.17	42.908	L 68,777.78
Toyota Rav4 2020	Gasolina	704	L 27.17	32.004	L 47,822.05
Kia Sorento 2021	Gasolina	556	L 27.17	40.516	L 73,749.66

Fuente: Elaboración propia con datos de Honda, Ford, Toyota, Kia y La Prensa

**Tabla 18: Costo Anual de Combustible de cada uno de los vehículos eléctricos**

Vehículos	Tipo de Combustible	Autonomía [km]	Precio del Combustible	Cantidad de cargas al año	Costo Anual de Combustible
Hyundai KONA Electric 2022	Energía Eléctrica	660	L 4.79	34	L 10,465.75
Nissan Leaf ACENTA 2021	Energía Eléctrica	270	L 4.79	83	L 15,989.33
Volkswagen ID.3 2021	Energía Eléctrica	330	L 4.79	68	L 14,717.45
Renault ZOE E-TECH 2021	Energía Eléctrica	265	L 4.79	85	L 16,291.02

Fuente: Elaboración propia con datos de Hyundai, Nissan, Volkswagen, Renault y CREE

Con estos cálculos se obtuvo que el costo promedio anual de combustible de un vehículo convencional último modelo y el ahorro que se obtiene al utilizar un vehículo eléctrico.

**Tabla 19: Costo Promedio Anual de Combustible de un Vehículo Convencional, Costo Promedio Anual de Combustible de un Vehículo Eléctrico y ahorro con el uso de un Vehículo Eléctrico**

Costo Promedio Convencional	L	63,695.85
Costo Promedio Eléctrico	L	14,365.89
Ahorro	L	49,329.96

Fuente: Elaboración propia

El ahorro que brinda el utilizar un vehículo eléctrico es del 77.45% en cuanto a costo de combustible anual. Pero para saber si es una opción más económica es necesario considerar la vida útil de los vehículos convencionales, eléctricos, el costo anual de combustible y el pago del préstamo de cada uno de los vehículos.

En el caso de los vehículos convencionales según MAPFRE (2019) la vida útil de estos vehículos en promedio es de 325,000 kilómetros. Tomando en cuenta que el vehículo de uso común en Honduras recorre una distancia de 22,531 kilómetros anualmente la vida útil de un vehículo convencional en Honduras es de aproximadamente 14 años. En el caso de los vehículos eléctricos esto cambia debido a la batería. Según CLICARS (2021) la vida útil de la batería de un vehículo eléctrico está alrededor de los 3,000 ciclos de carga completa. La batería de un vehículo

eléctrico en Honduras deberá ser cargada en promedio 68 veces por año dando una vida útil de 44 años en las mejores condiciones.

Para el cálculo del préstamo del vehículo se utilizó la calculadora de préstamos que brinda Banco LAFISE. Utilizando una tasa fija de interés del 9.99%, una prima del 10% de cada vehículo, tomando el préstamo a cinco años e incluyendo los costos de seguro vehicular y utilizando una vida útil de 14 años para los ocho vehículos obtuvimos los siguientes costos.

**Tabla 20: Costo de cada vehículo convencional al final de su vida útil**

Vehículos	Prima de 10%	Tasa de Interés	Meses de préstamo	Cuota Mensual	Costo Anual de Combustible	Vida útil [año]	Costo Final
Honda CR-V 2021	L 61,180.00	9.99%	60	L 13,080.00	L 64,433.92	14	L 1,686,874.83
Ford Escape 2021	L 60,668.00	9.99%	60	L 13,208.00	L 68,777.78	14	L 1,755,368.87
Toyota Rav4 2020	L 82,616.00	9.99%	60	L 17,978.00	L 47,822.05	14	L 1,748,188.67
Kia Sorento 2021	L 69,772.00	9.99%	60	L 15,186.00	L 73,749.66	14	L 1,943,655.29

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco LAFISE

**Tabla 21: Costo de cada vehículo eléctrico al final de su vida útil**

Vehículos	Prima de 10%	Tasa de Interés	Meses de préstamo	Cuota Mensual	Costo Anual de Combustible	Vida útil [año]	Costo Final
Hyundai KONA Electric 2022	L 85,257.46	9.99%	60	L 18,552.00	L 10,465.75	14	L 1,259,640.43
Nissan Leaf ACENTA 2021	L 79,103.58	9.99%	60	L 17,215.00	L 15,989.33	14	L 1,256,750.66
Volkswagen ID.3 2021	L 83,968.07	9.99%	60	L 18,272.00	L 14,717.45	14	L 1,302,364.36
Renault ZOE E-TECH 2021	L 80,723.12	9.99%	60	L 17,567.00	L 16,291.02	14	L 1,282,094.26

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco LAFISE

Con estos datos se obtiene que al finalizar los 14 años de vida útil un vehículo eléctrico da un ahorro del 28.5% en comparación a los vehículos convencionales.

**Tabla 22: Ahorro al usar un vehículo eléctrico al finalizar la vida útil**

Costo Promedio Vehículo Convencional	L	1,783,521.91
Costo Promedio Vehículo Eléctrico	L	1,275,212.43
Ahorro	L	508,309.49

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco LAFISE

### 5.3. MODELADO DEL MAPA CON LOS CENTROS DE CARGA

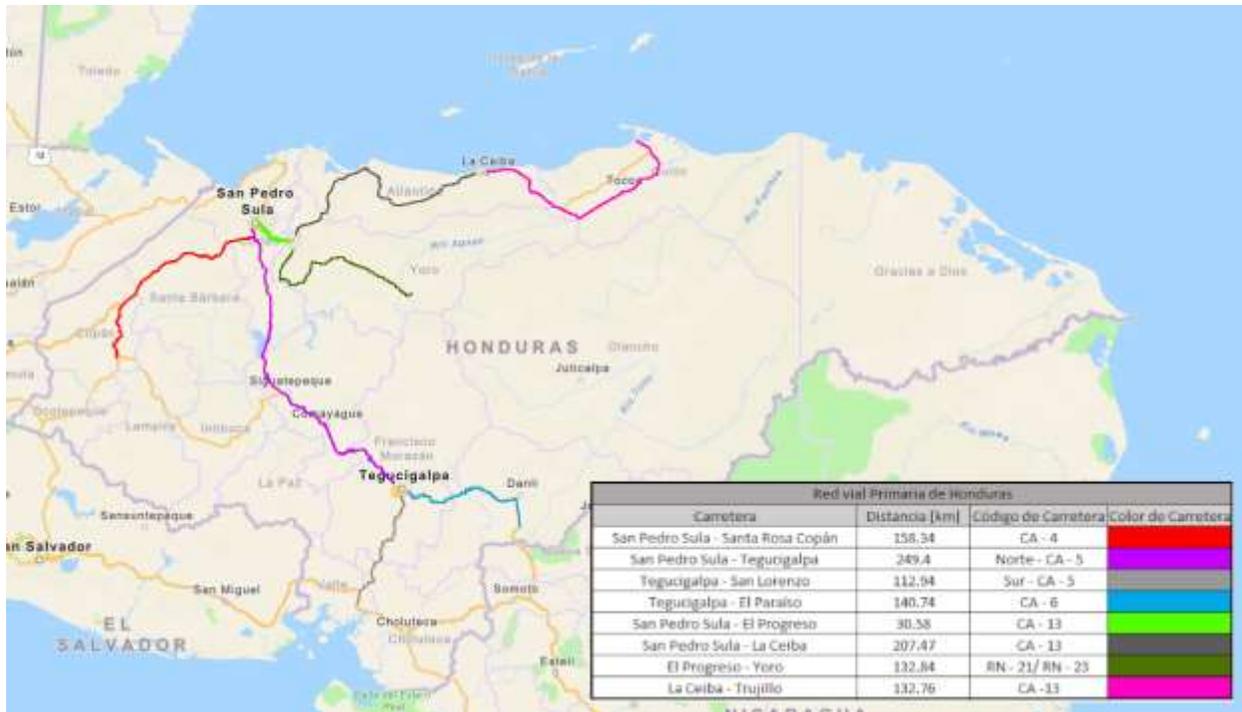
Para saber cada cuántos kilómetros serán necesarios los centros de carga ocupamos la autonomía promedio de los vehículos eléctricos en carretera la cual es de 312 kms asumiendo que la batería del vehículo este cargada a su máxima capacidad.

Luego de esto seleccionamos las carreteras de la Red vial Primaria en Honduras en las que se colocarían los centros de carga. Una vez con esta lista se midió la distancia de las carreteras utilizando la página web Calculador de Distancia. Dividimos la distancia de las carreteras entre la autonomía promedio de los vehículos eléctricos en carretera para obtener el número mínimo de centros de carga por carretera. Este dato nos ayudará al momento de decidir cuántos centros de carga se deberían de colocar en cada carretera.

**Tabla 23: Cálculo de número mínimo de centros de carga por carretera**

Red vial Primaria de Honduras		
Nombre	Distancia [km]	Número Mínimo de Centros de Carga
San Pedro Sula - Santa Rosa Copán	158.34	0.51
San Pedro Sula - Tegucigalpa	249.4	0.80
Tegucigalpa - San Lorenzo	112.94	0.36
Tegucigalpa - El Paraíso	140.74	0.45
San Pedro Sula - El Progreso	30.58	0.10
San Pedro Sula - La Ceiba	197.22	0.63
El Progreso - Yoro	132.84	0.43
La Ceiba - Trujillo	148.48	0.48

Fuente: Elaboración propia con datos de Hyundai, Nissan, Volkswagen, Renault, Honduras en sus manos y calculador de distancias



**Ilustración 25. Mapa de Carreteras donde se ubicarán los Centros de Carga en Honduras**

Fuente: Elaboración propia con ArcMap, Honduras en sus manos y calculador de distancias

En la mayoría de las carreteras no es necesario un centro de carga a excepción de la carretera CA – 5 Norte, la carretera que conecta a San Pedro Sula con Tegucigalpa. Sin embargo, hay que considerar cosas como el viaje de regreso de una ciudad a otra, si se tuvo alguna complicación y el vehículo no fue cargado a totalidad antes del viaje, al igual que si se tendrá o no disponibilidad de cargar el vehículo en la ciudad de destino si se planea permanecer cierto tiempo en ella.

Para la carretera CA-4 que inicia en la ciudad de San Pedro Sula, Cortés y termina en Santa Rosa de Copán, Copán se decidió colocar los centros de carga en las siguientes localidades:

- Chamelecón
- Sula
- Santa Rosa de Copán

Para la carretera CA-5 Norte que inicia en la ciudad de San Pedro Sula, Cortés y termina en Tegucigalpa, Francisco Morazán se decidió colocar los centros de carga en las siguientes localidades:

- Siguetepeque
- Santa Cruz Arriba

Para la carretera CA-5 Sur que inicia en la ciudad de Tegucigalpa, Francisco Morazán y termina en San Lorenzo, Valle se decidió colocar los centros de carga en las siguientes localidades:

- Cerro de Hula
- La Venta
- Júcaro Galán

Para la carretera CA-6 que inicia en la ciudad de Tegucigalpa, Francisco Morazán y termina en El Paraíso, El Paraíso se decidió colocar los centros de carga en las siguientes localidades:

- Villa Nueva
- Ojo de Agua
- San Marcos Abajo

Para la carretera San Pedro Sula, Cortés - El Progreso, Yoro se decidió colocar solo un centro de carga en la siguiente localidad:

- La Lima

Para la carretera San Pedro Sula, Cortés – La Ceiba, Atlántida se decidió colocar dos centros de carga en las siguientes localidades:

- Tela
- El Pino

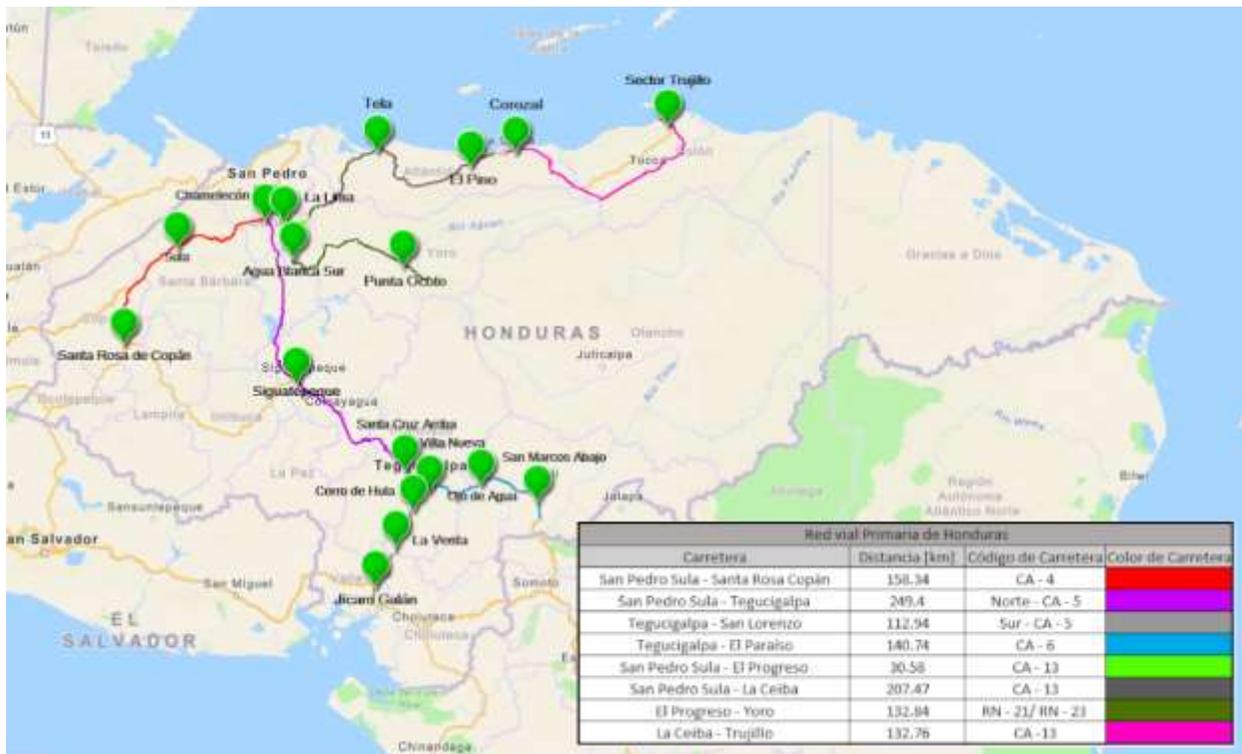
Para la carretera de El Progreso, Yoro – Yoro, Yoro se decidió colocar los centros de carga en las siguientes localidades:

- Agua Blanca Sur
- Punta Ocote

Para la carretera La Ceiba, Atlántida – Trujillo, Colón se decidió colocar los centros de carga en las siguientes localidades:

- Corozal
- Sector Trujillo

Con esta lista de localidades se modeló el siguiente mapa de Honduras con la ubicación de los centros de carga en las carreteras.



**Ilustración 26. Mapa de Centros de Carga en Honduras**

Fuente: Elaboración propia con ArcMap

#### 5.4. ANÁLISIS TÉCNICO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED

El módulo fotovoltaico que fue seleccionado para este proyecto es el TSM-400-DE15H(II) de la marca TRINASOLAR con una capacidad de 400 W, se seleccionaron siete módulos fotovoltaicos. El siguiente número de módulos fotovoltaicos se calculó con el fin de querer suplir la demanda energética que necesitaría un automóvil eléctrico particular que fue estimada de 3,600 kWh al año.

## Ecuación 1. Número de Módulos Fotovoltaicos

$$\frac{\text{Energía Demandada [kWh]}}{\text{Irradiación recibida por el plano del arreglo solar } \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] * P.R [-] * \text{Potencia Nominal Módulo [kW]}}$$

Donde la energía demandada será igual al estimado calculado anteriormente que es igual a 3,600 kWh en un año, solo que en este caso al estimar que un vehículo eléctrico consume un estimado de 3,600 kWh en año no podemos realizar el cálculo del sistema con esa cantidad de energía, por ende se ha tomado que a los 25 años de vida del sistema solar tiene que poder seguir abasteciendo esa cantidad por lo que hemos sobredimensionado el sistema fotovoltaico, estimando con una irradiación anual recibida por el plano del arreglo solar más o menos igual a 1,800 kWh/m<sup>2</sup> la cual fue determinada realizando un promedio de los promedios de irradiación directa en Honduras datos que fueron conseguidos en SOLARGIS y un P.R. de 0.8 que de igual manera fue obtenido con herramientas de simulación (PVsyst)

Considerando que tenemos una capacidad instalada en DC de 2.880 kWp que se obtiene por la multiplicación de la cantidad de módulos fotovoltaicos que en este caso son siete, por la potencia de cada módulo fotovoltaico. Se buscó tener una relación DC/AC que esté entre el intervalo de 1.1-1.3 se logró definir una capacidad AC de 2.500 kW. En función de esta capacidad y el arreglo de módulos se escogió el siguiente inversor, el GALVO 2.5-1 de la marca FRONIUS con una capacidad de 2.500 kW, obteniendo de esta manera un ratio DC/AC de 1.12 que está dentro de los límites establecidos.

Con la elección de los módulos e inversores ya definidos podemos comenzar con el diseño de cómo estarían distribuidas las cadenas y la cantidad de módulos que irían por cada cadena para cada inversor.

A continuación, se presentan las fórmulas con las que se calculó el número mínimo/máximo absoluto de módulos fotovoltaicos conectados a una cadena y el número mínimo/máximo recomendado de módulos fotovoltaicos conectados a una cadena. Además, se realizaron los cálculos de cuántas cadenas pueden ir por inversor de esa manera poder dimensionar de manera correcta nuestro proyecto solar fotovoltaico.

Inversor GALVO 2.5-1.

**Ecuación 2. Número Mínimo Absoluto de Módulos FV**

$$\frac{V_{\text{mínimo entrada Inversor}}}{V_{\text{mínimo Módulo FV}} * (1 - \text{FactorDegradacion a 25 años})}$$

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

**Tabla 24: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Mínimo Absoluto**

<b>Número Mínimo Absoluto</b>		
$V_{\text{min}}$ entrada inversor	165	[V]
Factor Degradación 25Y	10%	[-]
$V_{\text{mp}}$	41.1	[V]
$T_{\text{promedio}}$	35	[°C]
$T_{\text{stc}}$	25	[°C]
$T_{\text{cpmax}}$	-0.37	[%/°C]
$T_{\text{rise}}$	32	[°C]
$V_{\text{min}}$ módulo FV	34.71306	[V]
# mínimo de módulos	5.281394	[-]
# mínimo de módulos	6	[-]

Fuente: Elaboración propia con datos de las fichas técnicas del módulo fotovoltaico e inversor.

**Ecuación 3. Número Mínimo Recomendado de Módulos FV**

$$\frac{V_{\text{mínimo tracker}}}{V_{\text{mínimo Módulo FV}} * (1 - \text{FactorDegradacion a 25 años})}$$

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

**Tabla 25: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Mínimo Recomendado**

<b>Número Mínimo Recomendado</b>		
$V_{\min}$ tracker inversor	165	[V]
Factor Degradación 25Y	10%	[-]
$V_{mp}$	41.1	[V]
$T_{promedio}$	35	[°C]
$T_{stc}$	25	[°C]
$T_{cpmax}$	-0.37	[%/°C]
$T_{rise}$	32	[°C]
$V_{\min}$ módulo FV	34.71306	[V]
# mínimo de módulos	5.281393612	[-]
# mínimo de módulos	6	[-]

Fuente: Elaboración propia con datos de las fichas técnicas del módulo fotovoltaico e inversor.

**Ecuación 4. Número Máximo Absoluto de Módulos Fotovoltaicos**

$$\frac{V_{\text{máximo entrada Inversor}}}{V_{\text{máximo Módulo FV}}}$$

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

**Tabla 26: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Máximo Absoluto**

<b>Número máximo Absoluto</b>		
$V_{\max}$ entrada inversor	550	[V]
$V_{oc}$	50.4	[V]
$T_{\min}$	20	[°C]
$T_{stc}$	25	[°C]
$T_{cvoc}$	-0.29	[%/°C]
$V_{\max}$ módulo FV	51.1308	[V]
# Máximo de módulos	10.75673	[-]
# Máximo de módulos	10	[-]

Fuente: Elaboración propia con datos de las fichas técnicas del módulo fotovoltaico e inversor.

**Ecuación 5. Número Máximo Recomendado de Módulos Fotovoltaicos**

$$= \frac{V_{\text{máximo tracker}}}{V_{\text{máximo Módulo FV}}}$$

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

**Tabla 27: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Máximo Recomendado De Cadenas**

Número máximo Recomendado		
$V_{\text{max}}$ tracker inversor	440	[V]
$V_{\text{oc}}$	50.4	[V]
$T_{\text{mín}}$	20	[°C]
$T_{\text{stc}}$	25	[°C]
$T_{\text{cvoc}}$	-0.29	[%/°C]
$V_{\text{max}}$ módulo FV	51.1308	[V]
# Máximo de módulos	8.60538071	[-]
# Máximo de módulos	8	[-]

Fuente: Elaboración propia con datos de las fichas técnicas del módulo fotovoltaico e inversor.

**Ecuación 6. Número Recomendado de Cadenas en Paralelo**

$$= \frac{\text{Corriente Nominal del Inversor}}{\text{Corriente Máxima Potencia Modulos@STC}}$$

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

**Tabla 28: Datos Utilizados para el Cálculo del Número Máximo Recomendado De Cadenas**

<b>Número Máximo Recomendado De Cadenas</b>		
Max. input current per MPPT	16.1	[A]
Maximum Power Current-IMPP (A)	9.74	[A]
# Máximo Recomendado de Cadenas	1.652977	[-]
# Máximo Recomendado de Cadenas	1	[-]

Fuente: Elaboración propia con datos de las fichas técnicas del módulo fotovoltaico e inversor.

**Ecuación 7 Capacidad del Banco de Baterías**

$$= \frac{\text{Energía Demandada al Día} * \text{Días de Autonomía}}{\text{Eficiencia Inversor} * \text{Voltaje Batería} * \text{Profundidad Máxima de Descarga}}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Mohanty et al., 2016)

**Tabla 29 Datos Utilizados para el Cálculo de la Capacidad del Banco de Baterías**

<b>Capacidad del Banco de Baterías</b>		
Energía Demandada al Día	9863.01	kWh
Días de Autonomía	1	[-]
Eficiencia Inversor	0.958	[%]
Voltaje Batería	48	[V]
Profundidad Máxima de Descarga	0.8	[%]
<b>Capacidad del Banco de Baterías</b>	<b>268.1098</b>	<b>Ah</b>

**Ecuación 8 Baterías en Paralelo**

$$= \frac{\text{Capacidad del Banco}}{\text{Capacidad de Batería}}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Mohanty et al., 2016)

**Tabla 30 Datos Utilizados para el Cálculo de Baterías en Paralelo**

<b>Baterías en Paralelo</b>		
Capacidad del Banco de Batería	268.1098	Ah
Capacidad del Batería	300	Ah
<b>Baterías en Paralelo</b>	<b>1</b>	<b>[-]</b>

Una vez obtenidos los datos generales del sistema solar fotovoltaico que se muestran en la tabla 28. Este diseño tiene la capacidad de generar energía eléctrica suficiente para cargar a un vehículo eléctrico que en promedio recorra 22,531 km al año estimando un consumo energético de 3,600 kWh al año.

**Tabla 31: Datos Generales del Sistema Fotovoltaico**

<b>Datos Generales del Sistema Fotovoltaico</b>		
Capacidad DC	2.8	[kW]
Capacidad AC	2.5	[kW]
Ratio DC/AC	1.12	[-]
Número de Módulos	7	[-]
Potencia Nominal del Módulo FV	0.4	[kW]
Número de Inversores	1	[-]
Potencia Nominal Inversor	2.5	[kW]
Número de Cadenas	1	[-]

Fuente: Elaboración Propia

## **5.5. ANÁLISIS FINANCIERO**

Una vez obtenidos los precios de los módulos fotovoltaicos y el inversor que ambos fueron cotizados en [www.solaris-shop.com](http://www.solaris-shop.com) obtuvimos un precio para el TSM-400 DE15H(II) de \$214.00 y el precio para el del FRONIUS GALVO 2.5-1 2.5KW INVERTER DE \$1,522.00 y se realizó la cotización del sistema de montaje marca Everest Solar Systems. Finalmente logramos obtener un costo de kW de \$1,526.65/kW.

**Tabla 32: Presupuesto de la Instalación Fotovoltaica**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
TrinaSolar 400 Watt	7	\$256.80	\$1,797.60
FRONIUS GALVO 2.5k	1	\$1,826.40	\$1,826.40
CrossRail 48-XL	6	\$56.14	\$336.82
End Caps	6	\$1.20	\$7.20
End Clamps	6	\$3.60	\$21.60
Mid Clamps	12	\$3.00	\$36.00
Rail Connector Set CR 48-XL	4	\$8.40	\$33.60
Tile Hook 3s	6	\$5.40	\$32.40
Grounding Lug	3	\$8.40	\$25.20
L Foot Tile Hooks 3S	6	\$3.30	\$19.80
Cable PV #10 AWG Rojo	100	\$0.60	\$60.00
Cable PV #10 AWG Negro	100	\$0.60	\$60.00
THHN	30	\$0.60	\$18.00
Total			\$4,274.62
\$/kW			\$1,526.65

Fuente: Elaboración propia con precios obtenidos de [www.solaris-shop.com](http://www.solaris-shop.com)

La siguiente tabla 30, nos muestra los parámetros de entrada que fueron utilizados para realizar el análisis financiero para con ello poder calcular el tiempo de recuperación de la inversión junto con el VAN, ROI y el LCOE.

**Tabla 33: Parámetros de entrada de la Instalación Fotovoltaica**

<b>Parámetros de entrada:</b>	
Potencia nominal DC [kWp]:	2.8
Rendimiento específico primer año [kWh/kWp]:	1380
Tarifa eléctrica [\$/kWh]:	0.20
Incremento tarifa anual [%]:	2.0%
Degradación módulo FV 2 ~ 25 años [%]:	0.6%
Annual O&M cost [\$/kWp]:	10
Tasa de descuento para el VAN [%]:	10%
Inflación anual [%]:	3%
Costo específico de Capital [\$/kWp]:	\$1,526.65
Costo de capital o inversión total [\$]:	4,274.62
Porcentaje de deuda [%]:	80%
Deuda [\$]:	3,419.70
Fondos propios [\$]:	854.92
Tasa de interés de préstamo anual [%]:	36%
Plazo de préstamo [años]:	5
Capital Recovery Factor [-]:	0.458560269
Cuota anual [\$]:	1,568.14
Capital distribuido a lo largo de la vida útil del proyecto para LCOE sin financiamiento [\$]:	170.98
Capital distribuido a lo largo de la vida útil del proyecto para LCOE con financiamiento [\$]:	34.20
Seguro anual [%]:	0.60%
Vida útil del proyecto [Años]:	25
Cambio de inversores en el año 12 [\$]:	1,826.40
Impuesto Sobre Renta [%]:	0%

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de ENERGÍA Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

Como se puede observar en la tabla a continuación tenemos un periodo de recuperación de la inversión de 6.82 años con financiamiento y obtuvimos un periodo de recuperación de la inversión de 6.10 años sin financiamiento.

**Tabla 34: Parámetros de Salida de la Instalación Fotovoltaica**

<b>Parámetros de salida:</b>		
	Sin financiamiento	Con financiamiento
Periodo de recuperación de la inversión [años]:	6.10	6.82
VAN [\$]:	2,769.68	5,494.36
TIR [%]:	17.05%	28%
ROI [%]:	64.79	642.67
LCOE [\$/kWh]:	0.0882	0.2153

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

## **5.6. SISTEMA AISLADO CON BATERÍAS**

Para realizar el análisis financiero del sistema fotovoltaico aislado con baterías para poder suplir la demanda del vehículo eléctrico se realizó cotizaciones de paquetes que ya incluyen la capacidad DC deseadas con el inversor y un sistema de almacenamiento de 24kWh el cual tiene un precio de Lps. 391,579.00 y se realizó cotizaciones aparte utilizando el mismo diseño presentado en el diseño conectado a la red, pero incluyendo una batería con capacidad de almacenamiento de 15kWh lo cual aumentaba le daba un aumento de \$5,765.11 solo por el precio de la batería. Una vez dicho esto a continuación se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 35: Presupuesto Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
TrinaSolar 400 Watt	7	\$256.80	\$1,797.60
FRONIUS GALVO 2.5k	1	\$1,826.40	\$1,826.40
Freedom Won Lite 15kWh	1	\$5,765.11	\$5,765.11
CrossRail 48-XL	6	\$56.14	\$336.82
End Caps	6	\$1.20	\$7.20
End Clamps	6	\$3.60	\$21.60
Mid Clamps	12	\$3.00	\$36.00
Rail Connector Set CR 48-XL	4	\$8.40	\$33.60
Tile Hook 3s	6	\$5.40	\$32.40
Grounding Lug	3	\$8.40	\$25.20
L Foot Tile Hooks 3S	6	\$3.30	\$19.80
Cable PV #10 AWG Rojo	100	\$0.60	\$60.00
Cable PV #10 AWG Negro	100	\$0.60	\$60.00
THHN	30	\$0.60	\$18.00
Total			\$10,039.73
\$/kW			\$3,585.62

Fuente: Elaboración propia con precios obtenidos de [www.solaris-shop.com](http://www.solaris-shop.com)

La siguiente tabla nos muestra los parámetros de entrada que fueron utilizados para realizar el análisis financiero para con ello poder calcular el tiempo de recuperación de la inversión junto con el VAN, ROI y el LCOE.

**Tabla 36: Parámetros de entrada**

<b>Parámetros de entrada:</b>	
Potencia nominal DC [kWp]:	2.8
Rendimiento específico primer año[kWh/kWp]:	1380
Tarifa eléctrica [\$/kWh]:	0.20
Incremento tarifa anual [%]:	2.0%
Degradación módulo FV 2 ~ 25 años [%]:	0.6%
Annual O&M cost [\$/kWp]:	10
Tasa de descuento para el VAN [%]:	10%
Inflación anual [%]:	3%
Costo específico de Capital [\$/kWp]:	\$3,585.62
Costo de capital o inversión total [\$]:	10,039.73
Porcentaje de deuda [%]:	70%
Deuda [\$]:	7,027.81
Fondos propios [\$]:	3,011.92
Tasa de interés de préstamo anual [%]:	36%
Plazo de préstamo [años]:	5
Capital Recovery Factor [-]:	0.46
Cuota anual [\$]:	3,222.67
Capital distribuido a lo largo de la vida útil del proyecto para LCOE sin financiamiento [\$]:	401.59
Capital distribuido a lo largo de la vida útil del proyecto para LCOE con financiamiento [\$]:	120.48
Seguro anual [%]:	0.60%
Vida útil del proyecto [Años]:	25
Cambio de inversores en el año 12 [\$]:	7,591.51
Impuesto Sobre Renta [%]:	15%

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

Como se puede observar en la tabla 34. a continuación tenemos un periodo de recuperación de la inversión con y sin financiamiento igual al tiempo de vida útil dado al proyecto. Obtenemos valores de VAN y ROI negativos, además obtuvimos valores de LCOE elevados comparados al \$0.20/kWh de la tarifa de energía eléctrica.

**Tabla 37: Parámetros de salida**

<b>Parámetros de salida:</b>		
	Sin financiamiento	Con financiamiento
Periodo de recuperación de la inversión [años]:	14.00	8.50
VAN [\$]:	-3,377.72	988.51
TIR [%]:	5.66%	12%
ROI [%]:	-33.64	32.82
LCOE [\$/kWh]:	0.2295	0.5096

Fuente: PhD. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

## 5.7. LIMITACIONES

En el proceso de esta investigación se presentaron limitaciones al momento del desarrollo que se podrán ver reflejadas en los resultados obtenidos. Estas son:

- Los datos utilizados para el cálculo del crecimiento vehicular fueron tomados desde el año 2006 hasta el 2020, esto es una limitante ya que no se obtuvieron datos de antes del año 2006.
- Los datos para poder calcular el porcentaje de tipo de vehículos tuvieron que ser a través de estimación ya que los datos que provee la INE y el Instituto de la Propiedad Privada al momento de mencionar la cantidad de tipos de vehículos tienen un apartado de "otras categorías" y dentro de esas "otras categorías" se incluyen también las categorías ya dadas.
- Honduras no provee datos en cuanto a consumo por tipos de vehículos, por lo que se realizó estimaciones para determinar el consumo promedio de kBep que tienen los vehículos al año.

- Se tuvo que escoger un valor promedio de irradiación solar en Honduras para poder realizar el diseño del sistema solar fotovoltaico, por lo que la limitación es que no todo el territorio hondureño recibe la misma cantidad de irradiación solar.
- Al momento de realizar el análisis financiero se tuvo de limitante los costos de las baterías ya que se intentó que el sistema solar fotovoltaico fuera factible pero dado al costo de las baterías no se logró.

## **VI. CONCLUSIONES**

Se ha realizado una simulación para poder determinar la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> que podrían dejar de ser emitidas si se tuviera en Honduras un sector transporte completamente eléctrico para el año 2050. A su vez, se ha realizado una comparación económica entre el costo de los vehículos convencionales (camionetas) y de los vehículos eléctricos (camionetas). También se ha realizado un mapa que demuestra donde podrían estar ubicados los centros de carga para los vehículos eléctricos en las carreteras más importantes de Honduras para que estos puedan ser utilizados para viajes entre ciudades. Por último, se ha realizado un estudio para determinar la factibilidad de cargar un vehículo eléctrico en el hogar con el fin de obtener un mayor ahorro económico en la energía consumida por el vehículo al ser producida en el hogar de los posibles dueños de estos vehículos.

- La flota vehicular de Honduras para el año 2050 sería de 29 millones de vehículos si el país siguiera con una tasa de crecimiento vehicular de 8.9%.
- El transporte colectivo interurbano diésel representa aproximadamente el 0.546%, el transporte colectivo urbano diésel representa aproximadamente el 0.418%, el transporte colectivo microbuses diésel representa aproximadamente el 0.081%, el transporte colectivo de taxis gasolina representa aproximadamente el 1.136%, el transporte colectivo de taxis diésel representa aproximadamente el 0.533%, el transporte de carga pesada diésel representa aproximadamente el 3.562%, los vehículos semipesados de carga diésel representan aproximadamente el 3.693%, los vehículos livianos de carga diésel representan aproximadamente el 20.134%, los automóviles particulares diésel representan aproximadamente el 8.507%, los automóviles particulares gasolina representan aproximadamente el 19.742%, las motocicletas representan aproximadamente el 41.650%.

- Cada vehículo de transporte colectivo interurbano diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.1345 kBep, cada vehículo de transporte colectivo urbano diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0441 kBep, cada vehículo de transporte colectivo microbuses diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0143 kBep, cada vehículo de transporte colectivo de taxis gasolina logra consumir en un año el aproximado a 0.01644 kBep, cada vehículo de transporte colectivo de taxis diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0153 kBep, cada vehículo de transporte de carga pesada diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0192 kBep, cada vehículo semipesado de carga diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0180 kBep, cada vehículo liviano de carga diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.0054 kBep, cada automóvil particular diésel logra consumir en un año el aproximado a 0.00318 kBep, cada automóvil particular gasolina logra consumir en un año el aproximado a 0.00248 kBep, cada motocicleta logra consumir en un año el aproximado a 0.0011 kBep.
- La diferencia estimada de consumo energético en el sector transporte para el año 2050 es de 399,041.9 kBep.
- El uso de energía eléctrica en lugar de combustibles fósiles brinda un ahorro promedio del 77.45% o 49,329.96 Lempiras al año en comparación a los vehículos convencionales.
- La diferencia estimada de CO<sub>2</sub> para el año 2050 es de 169,106.5 miles de toneladas métricas equivalentes de CO<sub>2</sub>.
- Las dimensiones obtenidas para poder cargar un vehículo eléctrico que recorra un aproximado de 22,531 km al año sería de 2.8 kW en DC, 2.5 kW en AC y un banco de baterías de 15kWh.
- El costo promedio de un sistema solar fotovoltaico conectado a un banco de baterías capaz de cargar un vehículo eléctrico es aproximadamente de \$10,039.73 el cual nos brinda un LCOE de 0.5096 \$/kWh el cual es considerado no factible.
- Se necesitarían un total de 18 centros de carga o electrolineras ubicadas en ciertas localidades a lo largo de las principales carretas de la Red Vial de Honduras.

Las principales limitaciones que se presentaron al momento de desarrollar la investigación son las siguientes: Los datos utilizados para el cálculo del crecimiento vehicular fueron tomados desde

el año 2006 hasta el 2020, esto es una limitante ya que no se obtuvieron datos de antes del año 2006. Los datos para poder calcular el porcentaje de tipo de vehículos tuvieron que ser a través de estimación ya que los datos que provee la INE y el Instituto de la Propiedad Privada al momento de mencionar la cantidad de tipos de vehículos tienen un apartado de "otras categorías" y dentro de esas "otras categorías" se incluyen también las categorías ya dadas. Honduras no provee datos en cuanto a consumo por tipos de vehículos, por lo que se realizó estimaciones para determinar el consumo promedio de kBep que tienen los vehículos al año. Se tuvo que escoger un valor promedio de irradiación solar en Honduras para poder realizar el diseño del sistema solar fotovoltaico, por lo que la limitación es que no todo el territorio hondureño recibe la misma cantidad de irradiación solar. Al momento de realizar el análisis financiero se tuvo de limitante los costos de las baterías ya que se intentó que el sistema solar fotovoltaico fuera factible pero dado al costo de las baterías no se logró. Se espera que estas limitaciones sean de utilidad para futuros investigadores para que, si gustan realizar una investigación similar, sepan cuales son las limitaciones que podrían encontrarse en el camino.

Se espera que esta investigación a pesar de sus limitaciones sea útil para futuros investigadores en el rubro del sector transporte y que logre incentivar a los lectores a indagar e investigar más en el tema de cómo se podrían ver reflejados los vehículos eléctricos en tiempo futuro, ya sea en cuantos centros de carga se ocupan en una ciudad o país, como sería la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y cuáles serían los cambios de la demanda energética del sector transporte.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomendaría crear un ente estadístico o reformar el actual para que provea datos específicos del sector transporte y sus tipos de vehículos.
- Se recomendaría realizar análisis para el consumo energético de todos los tipos de vehículos convencionales y hacer una comparación con los tipos de vehículos eléctricos en torno a consumo energético.
- Se recomienda empezar lo antes posible la implementación de un sector de transporte colectivo completamente eléctrico por los beneficios tanto económicos como ambientales que provendrían del cambio.
- Se deben de aprobar leyes de incentivo y ayuda fiscal por parte del gobierno para que de esta manera las compañías automotrices en el país se vean interesadas en traer este tipo de vehículos, ya que dependiendo de los incentivos la parte de la población que tiene la capacidad de pagar un vehículo eléctrico o tiene el deseo de ayudar al medio ambiente se podría ver motivada a adquirir uno de estos vehículos y a un menor costo con la ayuda de los incentivos o ayudas fiscales.
- Se deben de fomentar los beneficios económicos que brindan los vehículos eléctricos, ya que actualmente estos casi no se mencionan en el país. Incluso en nuestros cálculos sin incentivos o ayudas fiscales estos brindaron un ahorro considerable en comparación a los vehículos convencionales.
- Se recomienda encontrar una manera para que el costo de las baterías para almacenamiento fotovoltaico tenga un precio más accesible para que de esa manera se

puedan realizar futuros análisis para determinar la factibilidad de cargar vehículos eléctricos a través de un sistema fotovoltaico conectado a baterías.

- En el caso de que los vehículos eléctricos en un futuro sean más comunes a nivel centro americano serían necesarios centros de cargas en las carreteras que conectan a Honduras con sus países vecinos.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alcántara, V., & Padilla, E. (2006). *Análisis de las emisiones de CO2 y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo*. <https://ddd.uab.cat/record/44377>

*Alerta mundial por la contaminación en las ciudades de todo el planeta*. (2016, enero 18). ELMUNDO. <https://www.elmundo.es/salud/2016/01/18/569bba3d268e3ea1548b45e4.html>

Arroyo, F., & Miguel, L. (2019). *Análisis de la variación de las emisiones de CO2 y posibles escenarios al 2030 en Ecuador*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18142>

*BEN-2019.pdf*. (s/f). Recuperado el 29 de julio de 2021, de <https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/01/BEN-2019.pdf>

HONDURAS, Í. D. (2019). Portal Único de Transparencia. Obtenido de [https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver\\_documento.php?uid=ODQ1NzQ3ODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM0Mg==](https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=ODQ1NzQ3ODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM0Mg==)

Ding, N., Prasad, K., & Lie, T. t. (2017). The electric vehicle: A review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 9(1), 49–66. <https://doi.org/10.1504/IJEHV.2017.082816>

Mateo, M. O. (2010). Reducción de las emisiones de CO2 en vehículos de transporte: combustibles alternativos. *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, (8), 28-33.

Dulcich, F., Otero, D., & Canzian, A. (s/f). *Evolución Reciente y Situación Actual de la Producción y Difusión de Vehículos Eléctricos a Nivel Global y en Latinoamérica*. 31.

*Electric car registrations and market share in selected countries, 2015-2020 – Charts – Data & Statistics.* (s/f). IEA. Recuperado el 29 de julio de 2021, de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-registrations-and-market-share-in-selected-countries-2015-2020>

Services, W. B. (2021, mayo 14). *¿Podemos hablar de una segunda generación de coches eléctricos? 12 claves nos indican que sí.* Xataka. <https://www.xataka.com/n/podemos-hablar-segunda-generacion-coches-electricos-12-claves-nos-indican-que>

Elias, S. (2016). Internationalization of Higher Education in the light of some indicators. *European Scientific Journal, Special Edition.*

*EU economy and society to meet climate ambitions.* (s/f). [Text]. European Commission - European Commission. Recuperado el 29 de julio de 2021, de [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541)

Ev, L. (s/f). *Vehículos totalmente eléctricos.* 4.

Frías, P., & Román, J. (s/f). *VEHÍCULO ELÉCTRICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS.* 10.

BP. (2017). *Statistical Review of World Energy.* Londres: BP.

*Honduras—Emisiones de CO2 2019.* (s/f). datosmacro.com. Recuperado el 29 de julio de 2021, de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/honduras>

*Movilidad eléctrica contra el cambio climático.* (s/f). Endesa. Recuperado el 28 de julio de 2021, de <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/movilidad-electrica-contra-el-cambio-climatico>

*¿Qué es el Cambio Climático y cómo nos afecta? | ACCIONA.* (s/f). Recuperado el 29 de julio de 2021, de <https://www.accion.com/es/cambio-climatico/>

Ruíz, M. G. (2015). *PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE VEHICULOS ELECTRICOS.* 68.

Ángel Reinemer, J. M. (2018). Evaluación de factores socioeconómicos y técnicos que afectan la aplicación del vehículo eléctrico en Colombia. *Universidad de La Sabana.* <https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/34199>

Jiménez-Garro, M. (2020). "Estudio de prefactibilidad para sustitución de flotilla vehicular de motor de combustible fósil a vehículos eléctricos en ThyssenKrupp Elevadores S.A Costa Rica." <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11500>

Mediavilla, J. J. C., Hinojosa, L. X. O., Csanoba, J. A. T., & Calvache, C. A. G. (2017). Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(4), 112–124. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n4.2017.243>

Mohanty, P., Sharma, K. R., Gujar, M., Kolhe, M., & Nazmin Azmi, A. (2016). PV System Design for Off-Grid Applications.

Pérez, G., Bernal, F., Casado, D., & Diego, A. (s/f). *IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)*. 180.

Sandoval, D. J. T., & Torres, E. M. G. (2020). Respuesta de demanda de energía por introducción de vehículos eléctricos: Estado del arte. *I+D Tecnológico*, 16(1), 5–11. <https://doi.org/10.33412/idt.v16.1.2433>

Tabla de Precios de los Combustibles 2021. (2021, enero 2). *Proceso Digital*. <https://proceso.hn/tabla-de-precios-de-los-combustibles-2021/>

*Tecnología de vehículos eléctricos*. (2017, junio 23). Clean Vehicle Rebate Project. <https://cleanvehiclerebate.org/es/ev/tecnologia/vehiculos-electricos>

*Velocidades y modos de carga*. (s/f). Recuperado el 30 de julio de 2021, de <https://foro-ev.com/index.php?topic=66.0>

Wang, N., Pan, H., & Zheng, W. (2017). Assessment of the incentives on electric vehicle promotion in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.04.037>

Gasoline and diesel prices by country. (s/f). GlobalPetrolPrices.Com. Recuperado el 7 de agosto de 2021, de <https://www.globalpetrolprices.com/>

Clicars. (2021, abril 28). Cuál es la duración de la batería de un coche eléctrico—Clicars Blog. Clicars. <https://www.clicars.com/blog/actualidad/duracion-bateria-coches-electricos/>

¿Cuál es la vida útil del motor? (2019, septiembre 19). canalMOTOR.  
<https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/vida-util-motor/>

Grupo LAFISE - Honduras. (s/f). Recuperado el 14 de agosto de 2021, de  
<https://www.lafise.com/blh/PrestamosBLH/auto.html>

Ley-de-Transito.pdf. (s/f). Recuperado el 14 de agosto de 2021, de  
<https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Ley-de-Transito.pdf>

Prensa, L. (12 de mayo de 2018). laprensa.hn. Obtenido de  
<https://www.laprensa.hn/autos/1178930-410/vender-auto-honduras-momento-adecuado>

*Calculador de distancias: ¡calcula la distancia en línea!* (s/f). es.distance.to. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://es.distance.to/>

Red Vial de Honduras. (2016, abril 13). Honduras en sus manos.  
<https://hondurasensusmanos.com/red-vial-de-honduras/>

Carreteras-y-Aeropuertos-2018.pdf. (s/f). Recuperado el 28 de agosto de 2021, de  
<https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2020/01/Carreteras-y-Aeropuertos-2018.pdf>

Tarifas-vigentes-ENEE. (s/f). CREE. Recuperado el 14 de agosto de 2021, de  
<https://www.cree.gob.hn/tarifas-vigentes-enee/>

Worldwide electric vehicle sales by model 2020. (s/f). Statista. Recuperado el 14 de agosto de 2021, de <https://www.statista.com/statistics/960121/sales-of-all-electric-vehicles-worldwide-by-model/>

Zheng, J., Mehndiratta, S., Guo, J. Y., & Liu, Z. (2012). Strategic policies and demonstration program of electric vehicle in China. *Transport Policy*, 19(1), 17–25.  
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.07.006>

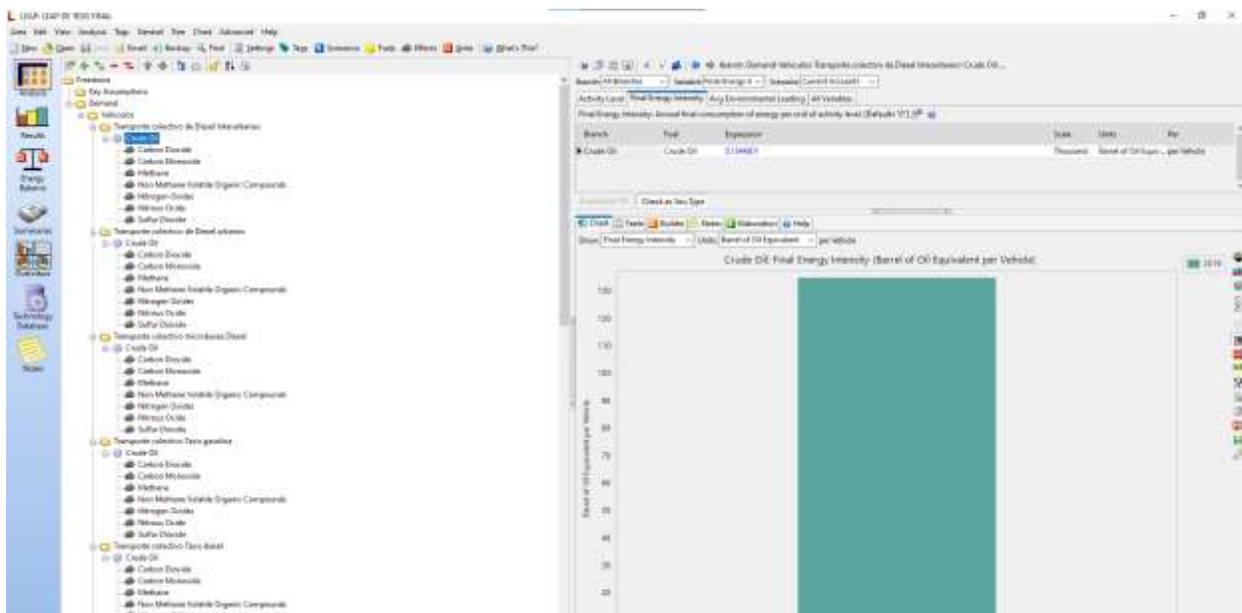
## IX. ANEXOS

Activity Level

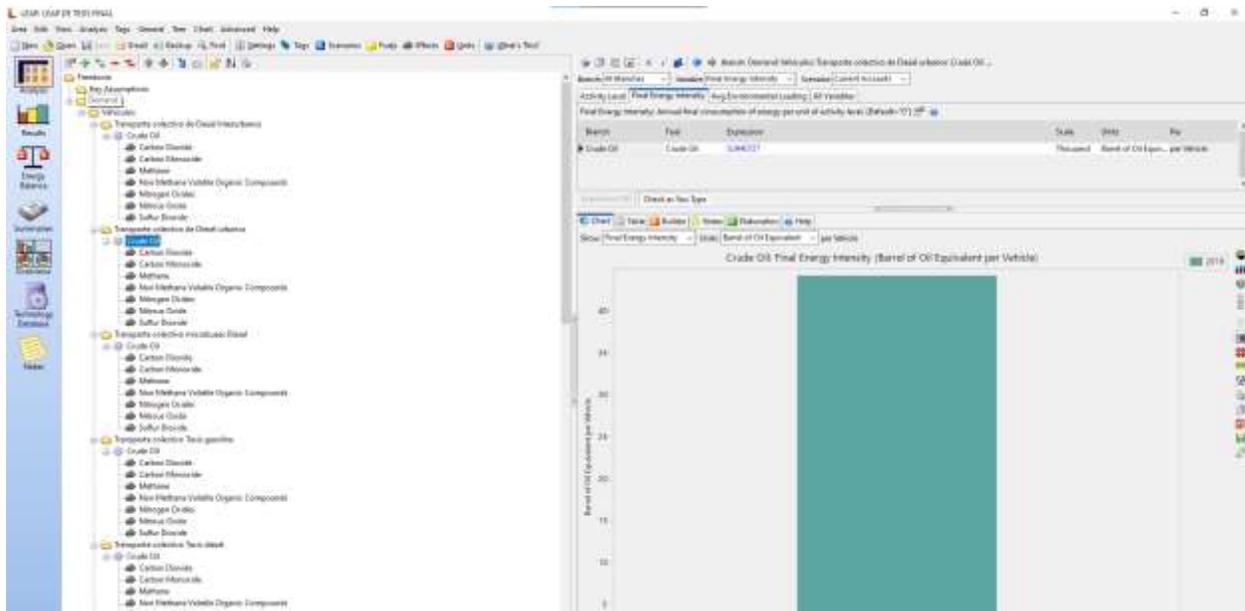
Activity Level: A measure of the social or economic activity for which energy is consumed. [Default: "0"]

Branch	Expression	Scale	Units	Per
Vehiculos	2.062474	Million	Vehicle	
Transporte colectivo...	0.54575582286770000	Percent	Share	of Vehicles
Transporte colectivo...	0.4182485199366250000	Percent	Share	of Vehicles
Transporte colectivo...	0.0805784262448443000	Percent	Share	of Vehicles
Transporte colectivo...	1.13588570811320000	Percent	Share	of Vehicles
Transporte colectivo...	0.5328529167733350000	Percent	Share	of Vehicles
Carga pesada Diesel	3.561834432381160000	Percent	Share	of Vehicles
Vehiculos Semipesa...	3.693230028155950000	Percent	Share	of Vehicles
Vehiculos livianos d...	20.133728187163000000	Percent	Share	of Vehicles
Automóviles particu...	8.506735559832100000	Percent	Share	of Vehicles
Automóviles particu...	19.741611728967700000	Percent	Share	of Vehicles
Motocicletas	41.649538810715100000	Percent	Share	of Vehicles

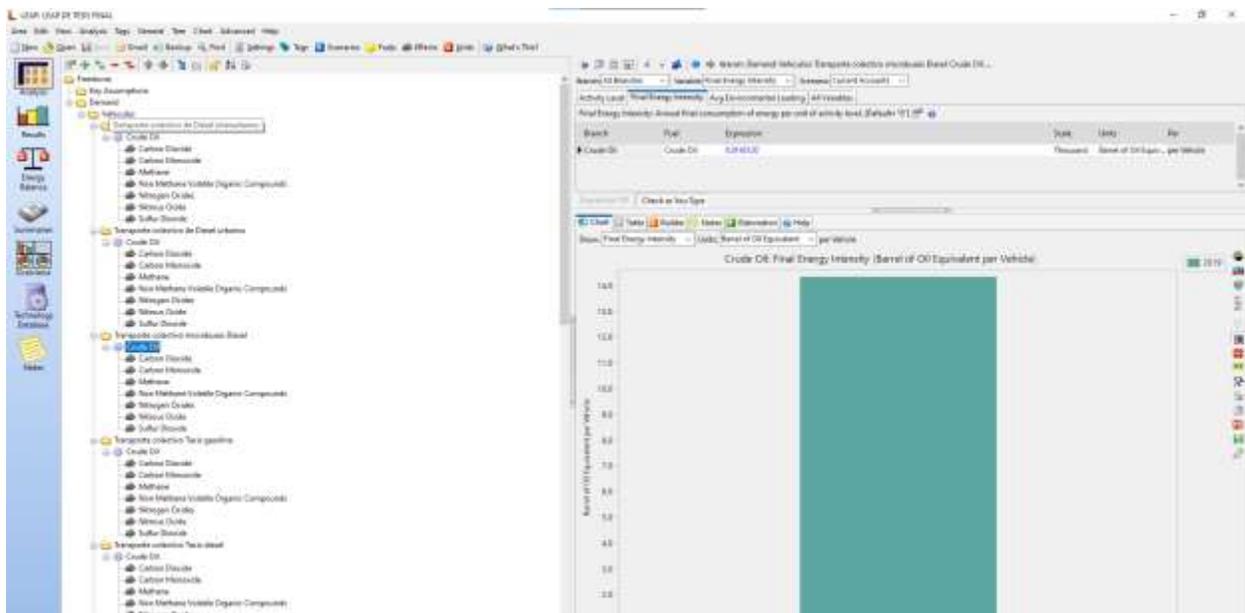
### Anexo 1 Porcentaje por Tipo de Vehículo en Honduras



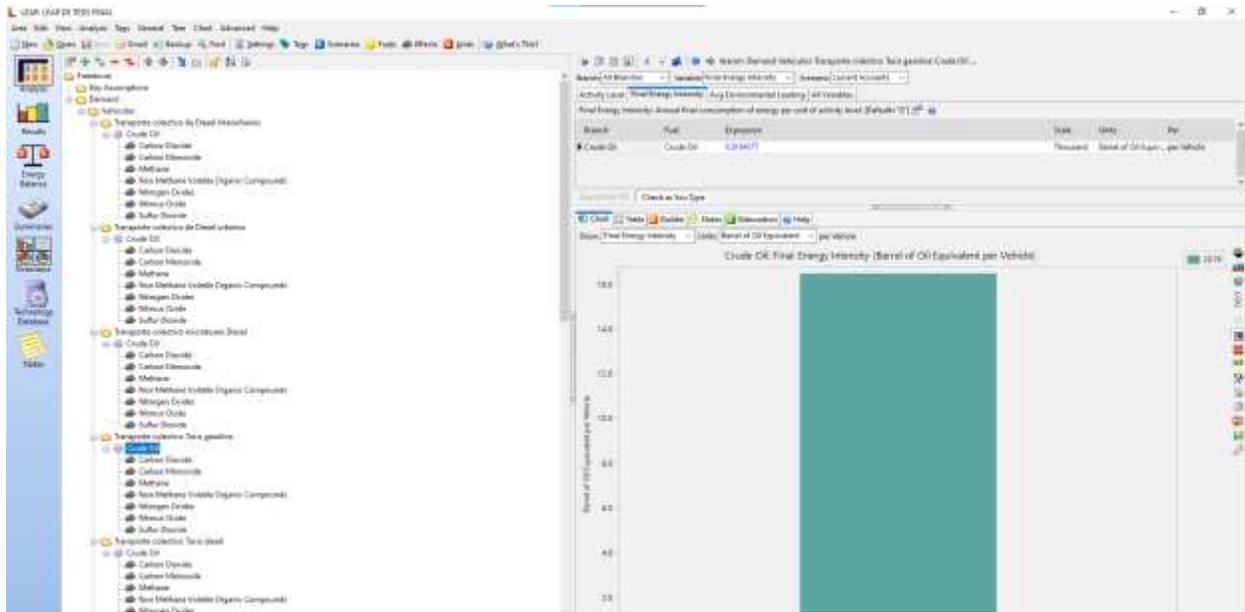
### Anexo 2 Transporte Colectivo Diesel Interurbanos



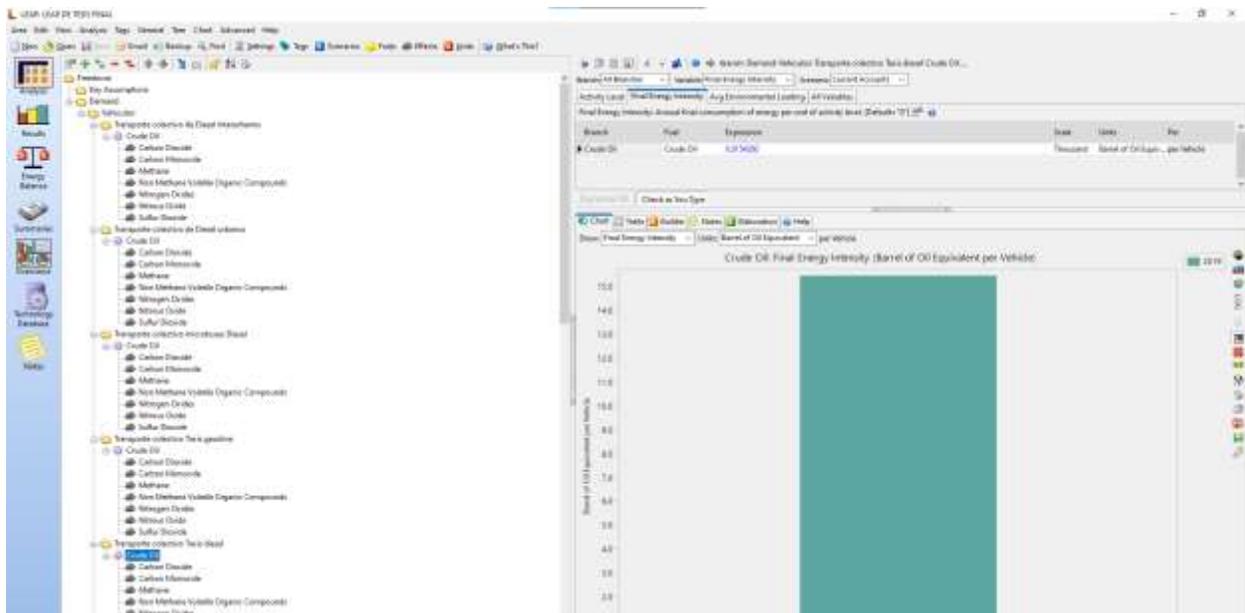
**Anexo 3 Transporte Colectivo Diesel Urbanos**



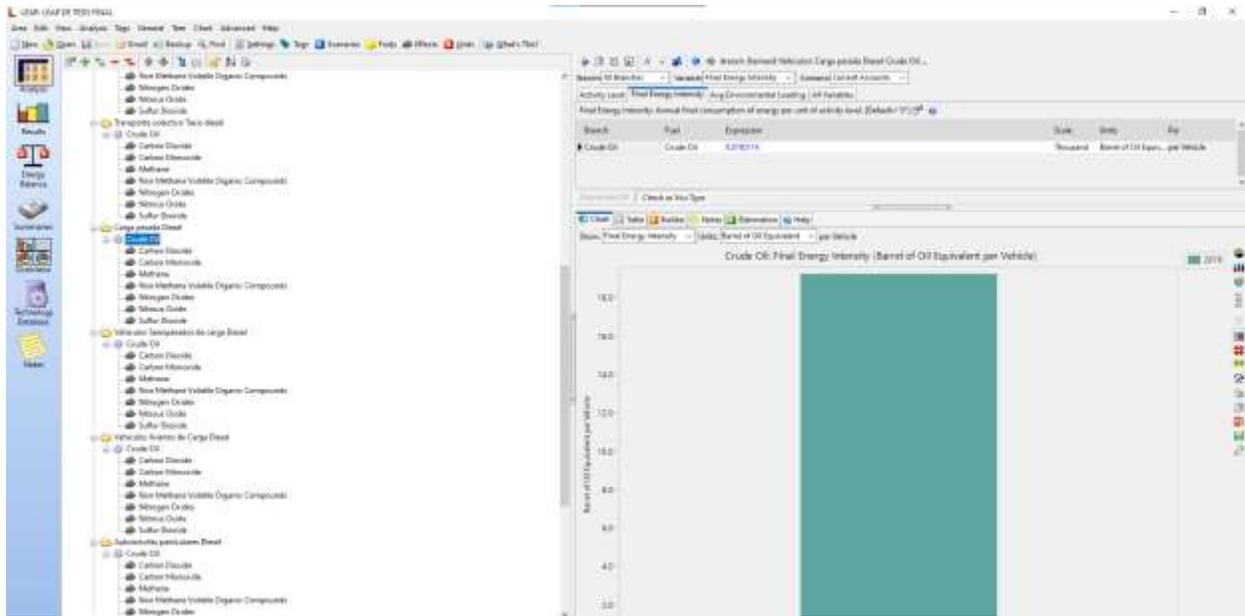
**Anexo 4 Transporte Colectivo Microbuses Diesel**



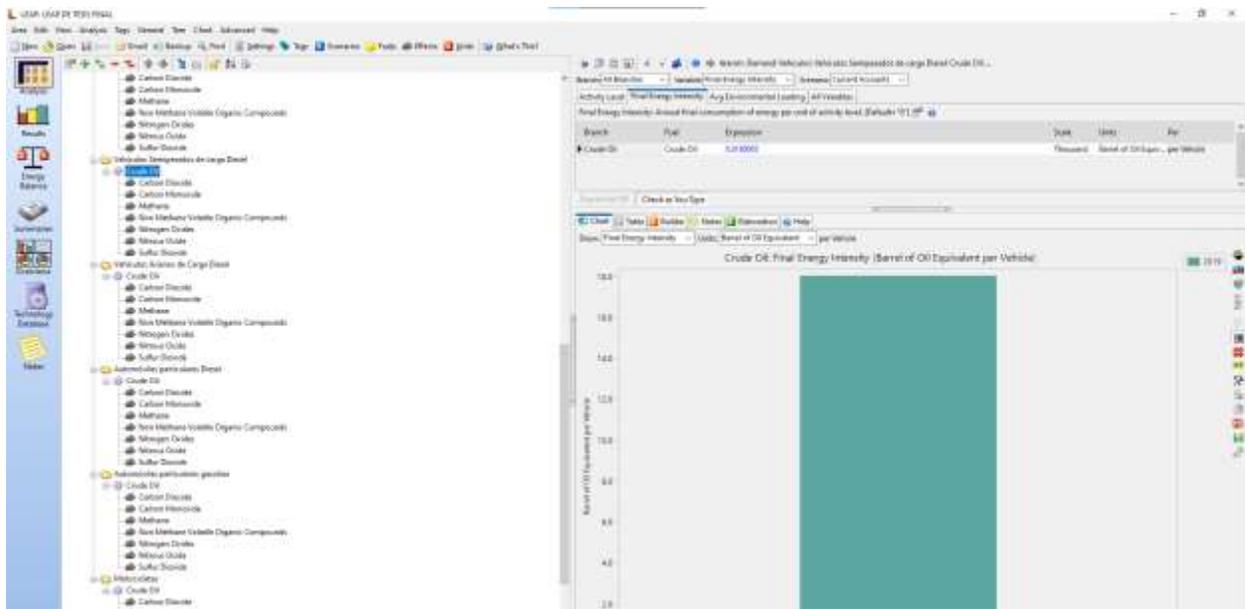
**Anexo 5 Transporte Colectivo Taxis Gasolina**



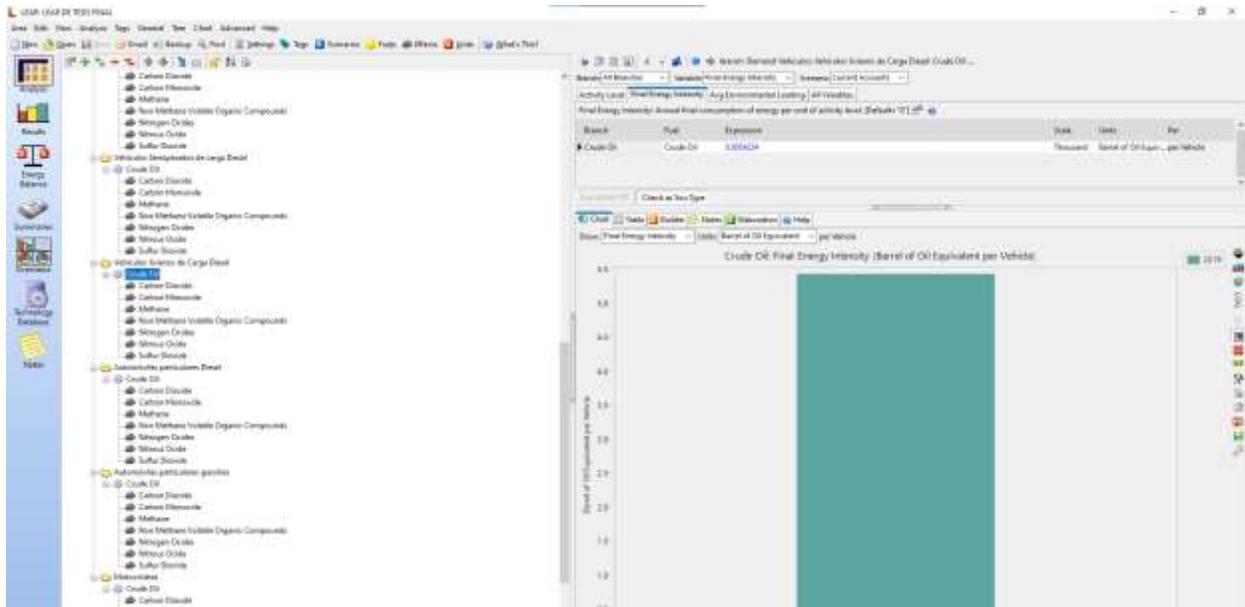
**Anexo 6 Transporte Colectivo Taxis Diesel**



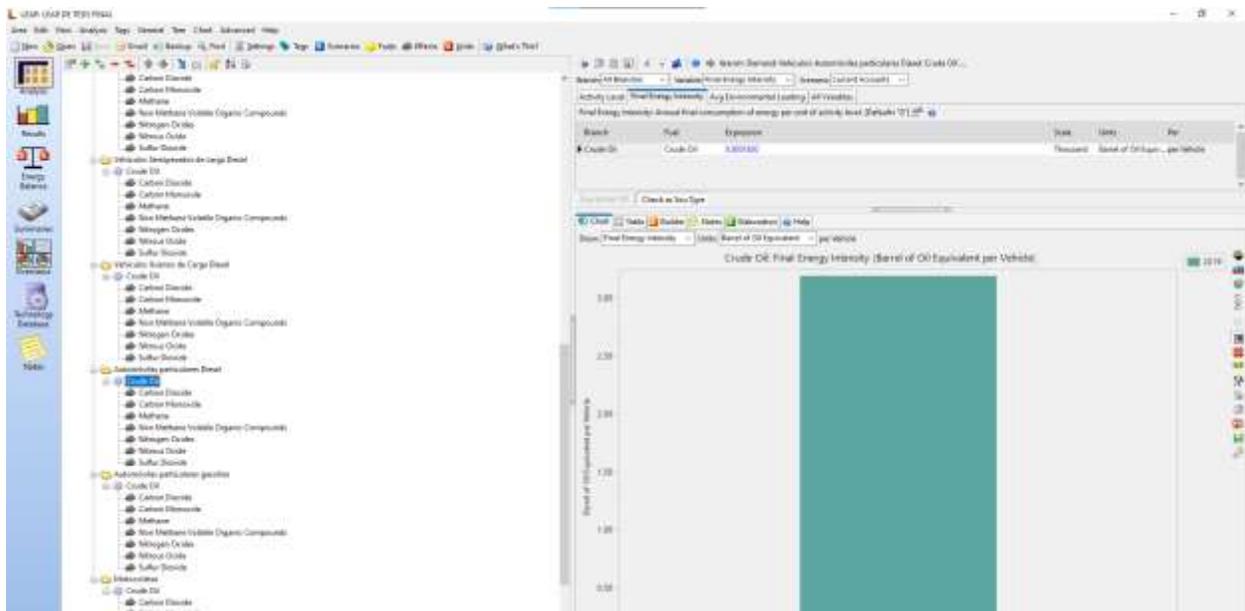
**Anexo 7 Carga Pesada Diesel**



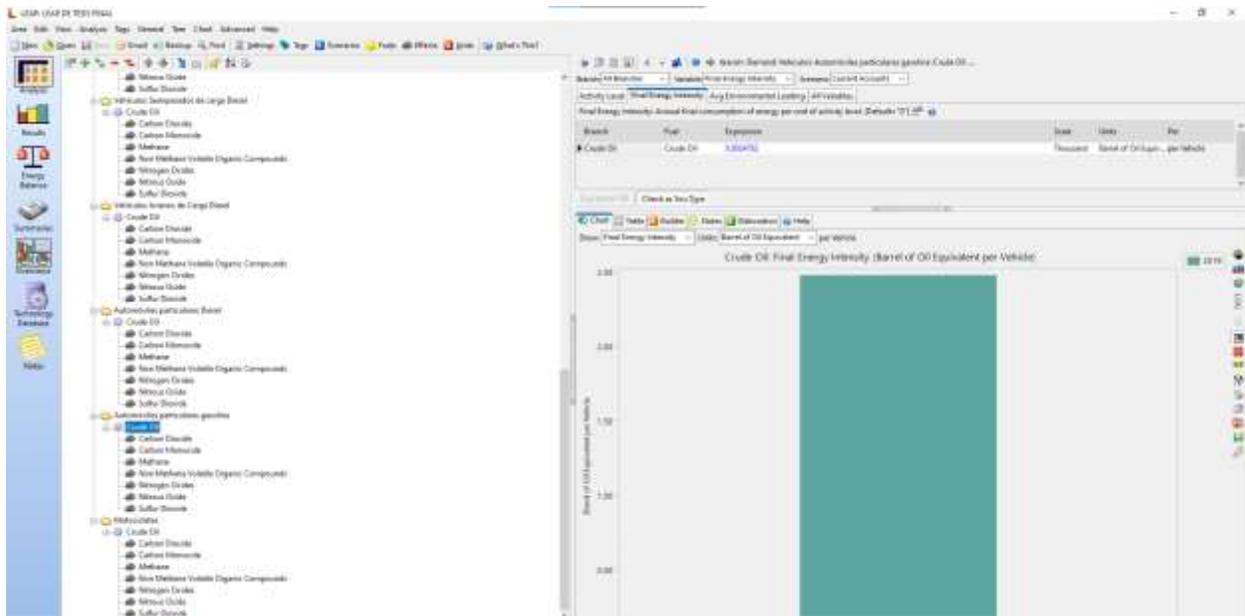
**Anexo 8 Vehículos Semipesados De Carga Diesel**



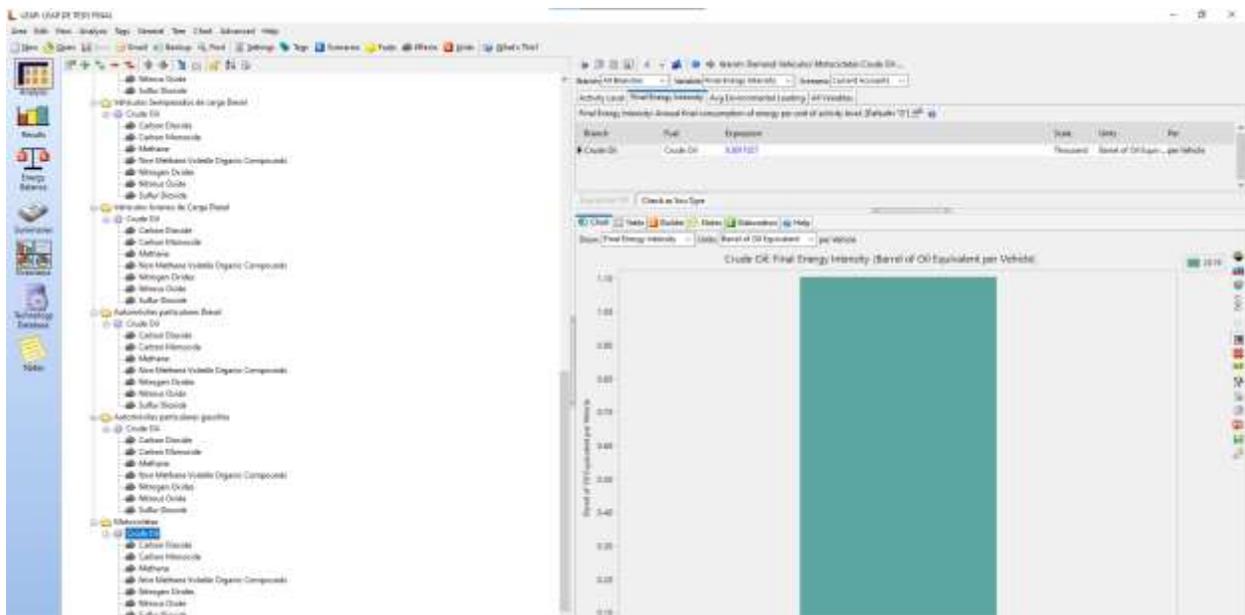
**Anexo 9 Vehículos Livianos de Carga Diesel**



**Anexo 10 Automóviles Particulares Diesel**



## Anexo 11 Automóviles Particulares Gasolina



## Anexo 12 Motocicletas



# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

Project: Tesis RodolfoBryan

Variant: New simulation variant

No 3D scene defined, no shadings

X. System power: 2800 Wp

Cañaveral - Honduras

**XI.** *PVsyst*

*DEMOPVsyst*

*DEMO*

*PVsyst DEMO*

| Author



PVsyst V7.2.5 VCO,  
Simulation date:  
14/11/21 19:53  
with v7.2.5

### Project summary

#### Geographical Site

Country  
Honduras

#### Situation

Latitude 14.00 8M  
Longitude 88.00 8M  
Time zone UTC -6

#### Project settings

Simulation date 14/11/21 19:53

### System summary

#### Grid-Connected System

No 3D scene defined, no shadings

#### PV Field Orientation

Tilt/Azimuth 15 / 0 °

#### Near Shadings

#### User's needs

#### PV Array

Number of modules  
2500

#### Inverter

Number of inverters 1  
Power (kW) 2500  
Efficiency (%) 97.5

### Results summary

Global irradiation (kWh/m<sup>2</sup>/a) 2064  
Global irradiation (kWh/m<sup>2</sup>/a) 1300  
Global irradiation (kWh/m<sup>2</sup>/a) 73.00 %

### Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagnosis	5
Conclusion	-

# XII. PVsyst



**PVsyst V7.2.5** VC0,  
Simulation date:  
14/11/21 19:53  
with v7.2.5

*DEMO*



**PVsyst V7.2.5** VCO,  
 Simulation date:  
 14/11/21 19:53  
 with v7.2.5

**General parameters**

<b>Grid-Connected System</b>	No AC source defined, no shading	
<b>PV Field Orientation</b>	Azimuth: 0°	
<b>Orientation</b>	Grid confirmation	Module panel
<b>Pitch</b>	15.70°	Diffuse: 0.0000
<b>Horizon</b>	Noor Shading	Module needs

**PV Array Characteristics**

PV module		Inverter	
Manufacturer	Trina Solar	Manufacturer	Fronius USA
Model	TSM-DE15H-(II)-400	Model	Galvo 2.5-1 / 240
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	400 Wp	Unit Nom. Power	2.50 kWac
Number of PV modules	7 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	2800 Wp	Total power	2.5 kWac
Modules	1 String x 7 In series	Operating voltage	165-440 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.12
Pmpp	2554 Wp		
U mpp	264 V		
I mpp	9.7 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	3 kWp	Total power	2.5 kWac
Total	7 modules	Nb. of inverters	1 Unit
Module area	14.2 m <sup>2</sup>		

**Array losses**

<b>Array quality loss</b>	11.0%	<b>Thermal Loss factor</b>	0.999	<b>DC wiring losses</b>	0.00%
<b>Module Quality Loss</b>	0.0%	<b>Module mismatch losses</b>	0.0%	<b>Strings Mismatch loss</b>	0.0%
<b>IAM loss factor</b>	1.000				

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

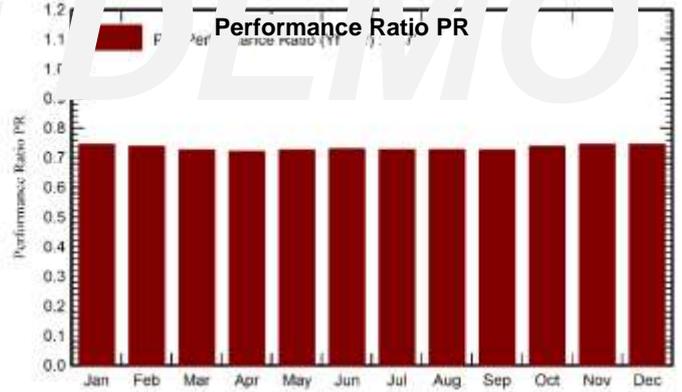
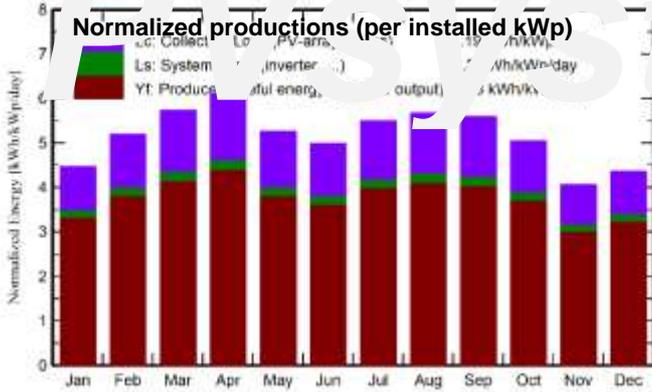


PVsyst V7.2.5 VC0,  
 Simulation date:  
 14/11/21 19:53  
 with v7.2.5

**Main results**

**System Production**

Produced Energy 3864 kWh/year Specific production 1380 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR 73.20 %



**Balances and main results**

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	ratio
January	123.3	59.50	21.46	138.5	120.6	304.3	289.2	0.746
February	132.7	59.81	22.95	145.4	126.8	316.0	300.4	0.738
March	171.4	71.57	24.95	177.8	155.0	380.4	361.6	0.726
April	186.0	74.76	26.45	183.8	159.7	389.7	370.7	0.720
May	172.5	89.40	26.90	163.2	141.3	349.3	332.0	0.727
June	161.9	74.84	25.75	149.6	129.4	321.6	305.4	0.729
July	182.8	74.89	25.93	170.3	147.4	365.0	347.0	0.728
August	181.9	77.93	25.88	175.6	152.3	376.5	358.0	0.728
September	164.6	66.21	25.44	167.6	145.8	358.4	340.6	0.726
October	146.6	75.30	24.39	156.4	136.0	339.6	323.1	0.738
November	110.0	63.80	22.35	121.7	105.6	267.7	254.0	0.746
December	118.1	54.15	22.09	135.3	117.9	297.1	282.2	0.745
Year	1852.0	842.17	24.55	1885.2	1637.9	4065.7	3864.1	0.732

**Legends**

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T\_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E\_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio





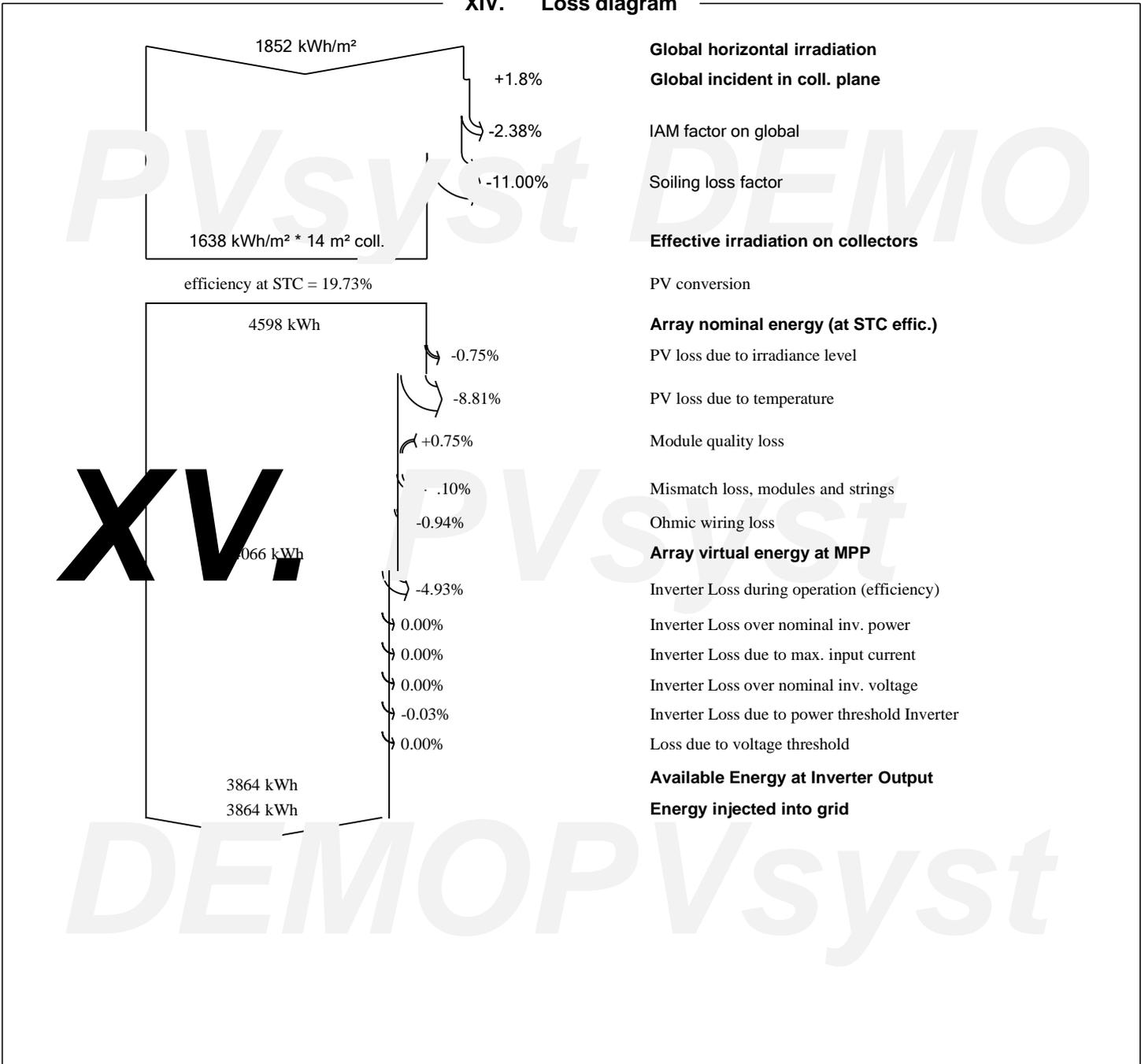
PVsyst v7.2.5 VC  
Simulation  
14/11/21  
with v7.2.5

DEMO



PVsyst V7.2.5 VCO,  
Simulation date:  
14/11/21 19:53  
with v7.2.5

XIV. Loss diagram



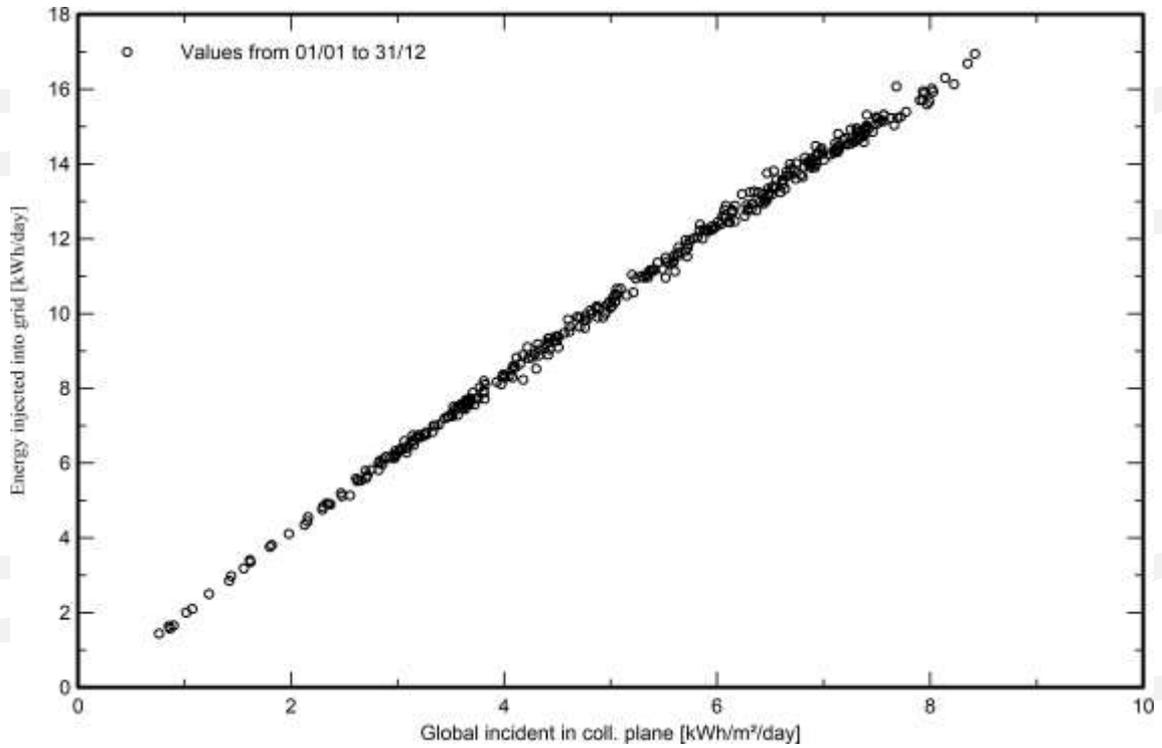


**PVsyst** v7.2.5  
Simulation date:  
14/11/21 10:53  
with v7.2.5

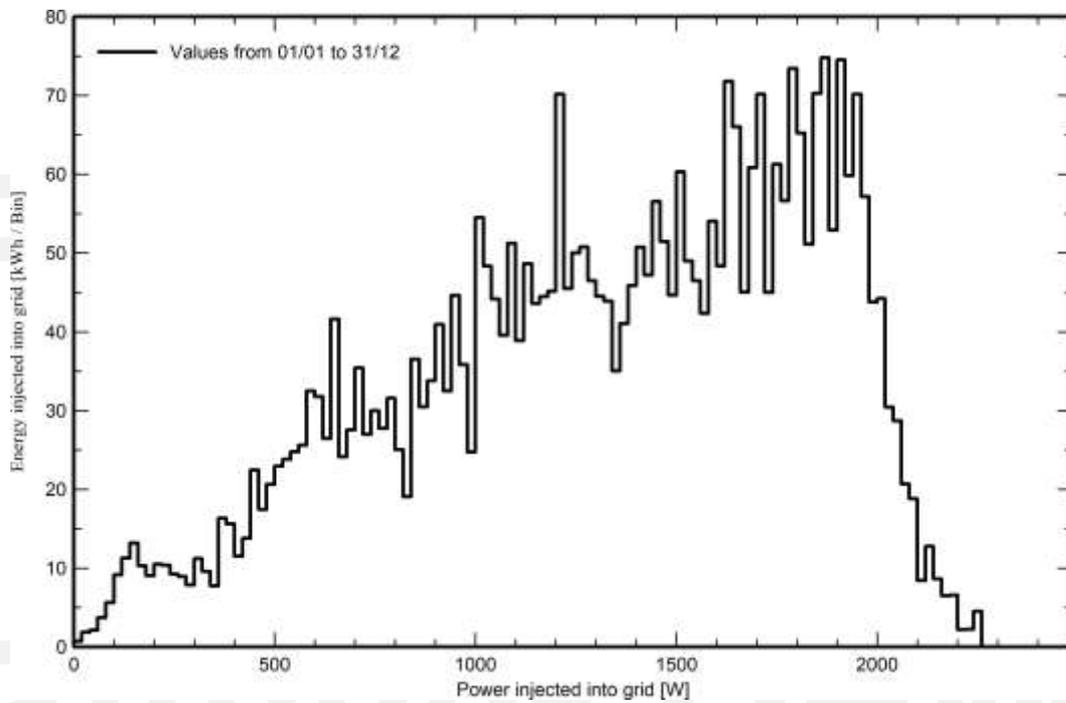
# PVsyst DEMO

## XVI. Special graphs

### Daily Input/Output diagram



### System Output Power Distribution



/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



SHIFTING THE LIMITS

# FRONIUS GALVO

/ The future of residential solar has arrived - The revolutionary new Fronius Galvo



/ Easy PC board replacement



/ SnapINverter Mounting system



/ Wi-Fi\* no board



/ Arc Fault Circuit Interruption



/ Smart Grid Ready



/ Fronius introduces the brand new Fronius Galvo! The Fronius Galvo is the first and only Wi-Fi\* enabled, super lightweight residential inverter that disrupts the residential solar market by providing a list of features never before seen in the solar industry. With the revolutionary Fronius SnapINverter hinge mounting system, which allows for a single person installation in record time, it is no wonder that installers are demanding the Fronius Galvo more than any other string inverter currently available. The Fronius Galvo provides an extra wide voltage window allowing for utmost flexibility in string design. The industry leading Fronius Service Provider program allows full service in less than 15 minutes by one installer with one truck roll.

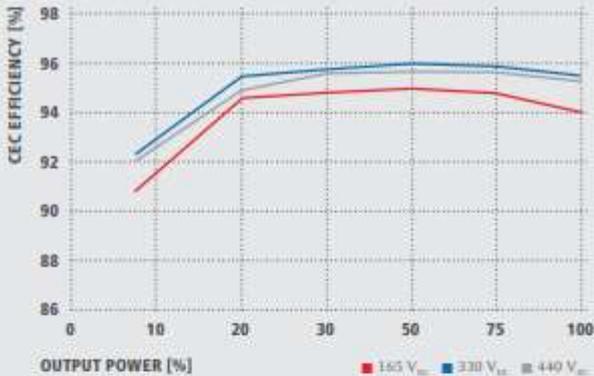
/ System owners are amazed by the attractive new low-profile design, integrated Wi-Fi\* with included Fronius Solar.web monitoring portal and Fronius smart phone app, the touch sensitive display, and quiet high-performance. The new Fronius Galvo creates convenience and sets the industry standard in installation, service and overall ownership.

## TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO

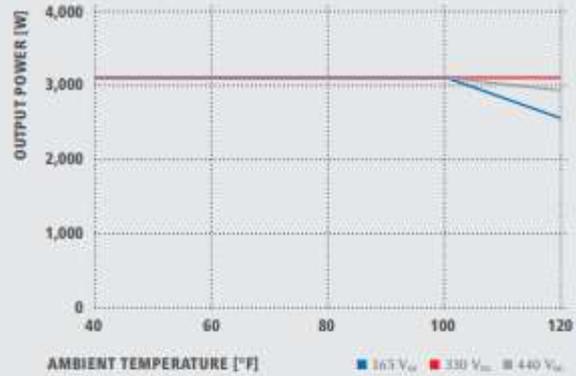
INPUT DATA		GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.1-1
Recommended PV Power (kWp)		1.2 - 2.4	1.6 - 3.2	2.0 - 3.8	2.5 - 4.5
Max. usable input current	208 V	13.8 A	17.8 A	18.1 A	18.7 A
	220 V	13.4 A	17.9 A	16.1 A	20.0 A
	240 V	13.4 A	17.9 A	16.1 A	20.0 A
Max. array short circuit current		16.7 A	22.4 A	20.1 A	25.0 A
Nominal input voltage		260 V		310 V	
Min./Max. input voltage		120 V / 420 V		165 V / 550 V	
DC startup voltage		140 V		185 V	
MPP Voltage Range		120 V - 335 V		165 V - 440 V	
Admissible conductor size (DC)		AWG 14 to AWG 6 - CU / AWG 6 - AL - solid			
Number of DC input terminals		3x DC+ and 3x DC- screw terminals for solid copper or aluminium and stranded / fine stranded copper			
OUTPUT DATA		GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.1-1
AC nominal output power		1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,100 VA
Max. output power		1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,100 VA
Max. output current	208 V	8.2 A	9.1 A	13.7 A	14.1 A
	220 V	7.7 A	9.1 A	12.9 A	14.1 A
	240 V	7.1 A	9.1 A	11.8 A	14.1 A
Admissible conductor size (AC)		AWG 14 to AWG 6 - CU / AWG 6 - AL - solid			
Max. output overcurrent protection		20 A			
Grid connection		208, 220 and 240 V			
Frequency		60 Hz			
Frequency range		59.3 to 60.5 Hz			
Total harmonic distortion		< 4 %			
Power factor range		0.85 - 1 (incl. cap)			

\*The term Wi-Fi is a registered trademark of the Wi-Fi Alliance.

### FRONIUS GALVO 3.1-1 CEC EFFICIENCY CURVE



### FRONIUS GALVO 3.1-1 TEMPERATURE DERATING



### TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO

GENERAL DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.1-1
Dimensions (height x width x depth)		24.7 x 16.9 x 8.1 in.		
Weight	36.05 lbs.		36.93 lbs.	
Protection Class	NEMA 4X			
Night time consumption	+ 3 W			
Inverter technology	HF transformer			
Cooling	Variable speed fan			
Installation	Indoor and outdoor installation			
Ambient operating temperature range	-40 to 122°F (-40 to 50°C)			
Permitted relative humidity	0 to 100% (non-condensing)			
Elevation	11483 ft (3500m) with a max. input voltage of 430 V DC			
Certificates and compliance with standards	UL 1741-2010, UL1998 (for functions: AFCI, GFDI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22-2 No. 107.1 01 (September 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TIL M.07 Issue 1-2013			
EFFICIENCY	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.1-1
Max. efficiency	95.8 %		96.0 %	
CEC efficiency	208 V	94.0 %	94.5 %	95.0 %
	220 V	94.0 %	94.5 %	95.0 %
	240 V	94.5 %	94.5 %	95.3 %
PROTECTION DEVICES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.1-1
Overload behavior	Operating point shift, power limitation			
2014 NEC Ready	Included			
DC Arc Fault Circuit Protection	Internal AFCI Type 1 (Arc Fault Circuit Interrupter); in accordance with UL1699B Issue 2-2013 and CSA TIL M.07 Issue 1-2013			
DC operation mode	ungrounded / neg. grounding in accordance with NEC 2014. Positive grounding in accordance with NEC 2011			
DC Ground fault detector / interrupter	Internal GFDI (Ground Fault Detector/Interrupter); in accordance with UL 1741-2010 and NEC 2014 (negative grounding)			
DC disconnect	Included			
INTERFACES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.1-1
Wi-Fi* / Ethernet LAN	Fronius Solar.web / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON			
Digital inputs/outputs	0 digital configurable I/O = 4 digital inputs + 1 relay contact			
USB (A socket)	For USB sticks: updates, logging			
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar.Net, interface protocol			
Datalogger and Webserver	Included			

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology - our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,000 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our more than 850 active patents are testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)



# TALLMAX<sup>M</sup>

TSM-DE15H(II)



**144 HALF-CUT**  
MONOCRYSTALLINE CELLS

**380-400W**  
POWER OUTPUT RANGE

**19.7%**  
MAXIMUM EFFICIENCY

**0/+5W**  
POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy. We believe close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar now distributes its PV products to over 60 countries all over the world. Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and supplement our innovative, reliable products with the backing of Trina Solar as a strong, bankable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaboration with installers, developers, distributors and other partners.

## Comprehensive Product And System Certificates

IEC61215/IEC61730/UL1703  
IEC61701 Salt Mist Corrosion  
IEC62716 Ammonia Corrosion  
IEC60068 Blowing Sand  
ISO9001: ISO14001: OHSAS18001



**Trina**solar



### Higher power for large scale installations

- High performance mono PERC cells
- Reduced BOS costs with higher power bins and 1,500V system voltage
- Consistently high bankability ratings by BNEF, banks and investors



### Half-cut cell design brings higher efficiency

- Optimized power output under inter-row shading conditions
- Integrated LRF for increased performance
- Low thermal coefficients for higher energy yield at elevated operating temperatures
- Reduced interconnection losses



### Highly reliable due to stringent quality control

- Over 30 in-house tests (UV, TC, HF, and many more)
- In-house testing goes well beyond certification requirements
- PID resistant
- 2x 100% inline EL inspection

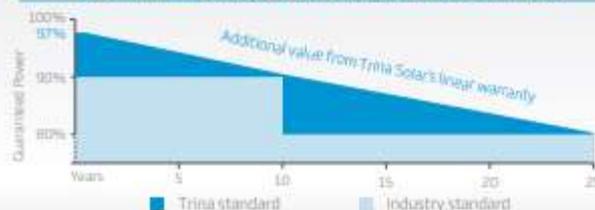


### Certified to withstand challenging environmental conditions

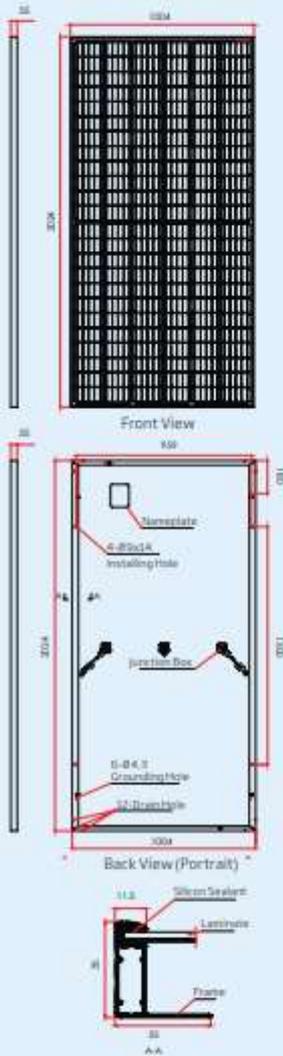
- Salt Mist Corrosion
- Ammonia Corrosion
- Blowing Sand

## LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty - 25 Year Linear Power Warranty



**DIMENSIONS OF PV MODULE**  
TSM-DE15H(III) (unit: mm)



ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-380 DE15H(III)	TSM-385 DE15H(III)	TSM-390 DE15H(III)	TSM-395 DE15H(III)	TSM-400 DE15H(III)
Peak Power Watts- $P_{max}$ (Wp)*	380	385	390	395	400
Power Output Tolerance- $P_{max}$ (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- $U_{mp}$ (V)	39.6	40.1	40.5	40.8	41.1
Maximum Power Current- $I_{mp}$ (A)	9.59	9.61	9.64	9.69	9.74
Open Circuit Voltage- $U_{oc}$ (V)	48.1	48.5	49.7	50.1	50.4
Short Circuit Current- $I_{sc}$ (A)	9.99	10.03	10.08	10.13	10.18
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	18.7	18.9	19.2	19.4	19.7

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25 °C, Air Mass AM1.5  
\* Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL DATA @ NMOT	TSM-380 DE15H(III)	TSM-385 DE15H(III)	TSM-390 DE15H(III)	TSM-395 DE15H(III)	TSM-400 DE15H(III)
Maximum Power- $P_{max}$ (Wp)	287	291	295	298	302
Maximum Power Voltage- $U_{mp}$ (V)	37.4	37.9	38.4	38.7	38.9
Maximum Power Current- $I_{mp}$ (A)	7.66	7.67	7.68	7.71	7.76
Open Circuit Voltage- $U_{oc}$ (V)	44.4	45.6	46.8	47.2	47.4
Short Circuit Current- $I_{sc}$ (A)	8.05	8.09	8.13	8.17	8.21

NMOT: Irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20 °C, Wind Speed 1 m/s.

**MECHANICAL DATA**

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	144 cells (6 x 24)
Module Dimensions	2024 x 1004 x 35 mm
Weight	22.8 kg
Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Cable 4.0mm <sup>2</sup> , Portrait: N 140mm/P 285mm, Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm
Connector	TS4

**TEMPERATURE RATINGS**

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3K)
Temperature Coefficient of $P_{max}$	-0.37%/K
Temperature Coefficient of $U_{oc}$	-0.29%/K
Temperature Coefficient of $I_{sc}$	0.05%/K

**MAXIMUM RATINGS**

Operational Temperature	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20 A
Snow Load	5400 Pa (3600 Pa*)
Wind Load	2400 Pa (1600 Pa*)

\*design load with safety factor 1.5 (DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

**PACKAGING CONFIGURATION**

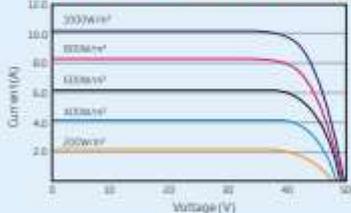
Modules per box:	30 pieces
Modules per 40' container:	660 pieces

**WARRANTY**

10 year Product Workmanship Warranty  
25 year Linear Performance Warranty  
(Please refer to product warranty for details)



**I-V CURVES OF PV MODULE (390W)**



**P-V CURVES OF PV MODULE (390W)**

