



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL  
DEBIDO A LA DEMANDA ATRIBUIDA A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONECTADOS A  
LA RED ELÉCTRICA NACIONAL DE GUATEMALA**

**Richard Rodrigo Culajay López**

Asesorado por Msc. Ing. Kenneth Luberck Corado Esquivel

Guatemala, marzo 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL  
DEBIDO A LA DEMANDA ATRIBUIDA A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONECTADOS A  
LA RED ELÉCTRICA NACIONAL DE GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RICHARD RODRIGO CULAJAY LÓPEZ**  
ASESORADO MSC. ING. KENNETH LUBERCK CORADO ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL  
DEBIDO A LA DEMANDA ATRIBUIDA A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONECTADOS A  
LA RED ELÉCTRICA NACIONAL DE GUATEMALA.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 19 de enero 2023.

**Richard Rodrigo Culajay López**



**EEPFI-PP-2116-2022**

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LA DEMANDA ATRIBUIDA A LOS VEHICULOS ELECTRICOS CONECTADOS A LA RED ELECTRICA NACIONAL DE GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Pérdidas en los sistemas eléctricos**, presentado por el estudiante **Richard Rodrigo Culajay López** carné número **201314326**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

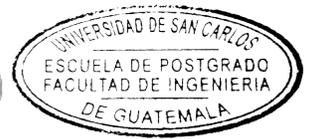
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel  
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-1726-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LA DEMANDA ATRIBUIDA A LOS VEHICULOS ELECTRICOS CONECTADOS A LA RED ELECTRICA NACIONAL DE GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **Richard Rodrigo Culajay López**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, noviembre de 2022



LNG.DECANATO.OI.306.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LA DEMANDA ATRIBUIDA A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA NACIONAL DE GUATEMALA**, presentado por **Richard Rodrigo Culljay López**, después de haber culminado las revisiones y firmas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.



IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, marzo de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por concederme la vida, por los dones que me concedió para poder desarrollarme en vida, por las personas que ha puesto en mi camino, por las innumerables bendiciones que ha derramado sobre mí y sobre mi familia y por la oportunidad de realizar esta investigación.

### **Mis padres**

Por ser mis pilares de vida, dándome su amor y su apoyo incondicional, enseñándome los valores de vida, por darme la oportunidad y las herramientas para seguir adelante en mis estudios.

### **Mis Familiares**

Por darme siempre su amor, apoyándome en la vida y por ser parte de mi felicidad.

### **Asesor**

Por apoyarme en el desarrollo de esta investigación, por brindarme su tiempo, sus consejos y recomendaciones.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por darme la oportunidad de estar vivo y enseñarme el valor de la vida
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser mi alma mater y por ser el lugar donde he aprendido sobre la ciencia e ingeniería, desarrollando para el área profesional y personal.
- Mis amigos** Que me ayudaron y que compartimos experiencias en el camino, que están en las buenas y en las malas.
- Ingenieros** Por transmitir sus conocimientos sin egoísmos, que apoyan a los estudiantes para que sean buenas personas y buenos profesionales.
- Mi novia** Por ser una mujer increíble, demostrándome que por muy dura que sea la vida se puede seguir adelante, que la felicidad depende de uno y por creer en mí para realizar esta investigación

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
2.1. Pregunta principal.....	5
2.2. Preguntas auxiliares .....	5
3. JUSTIFICACION .....	7
4. OBJETIVOS .....	9
4.1. General.....	9
4.2. Específicos .....	9
5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCION.....	11
6. ANTECEDENTES .....	13
7. MARCO TEORICO.....	17
7.1. Vehículo eléctrico .....	17
7.1.1. Historia del Vehículo Eléctrico .....	17
7.1.2. Tipos de Vehículos Eléctricos.....	18

7.1.2.1.	Vehículo eléctrico puro (BEV) .....	18
7.1.2.2.	Vehículo eléctrico híbrido (HEV).....	19
7.1.2.3.	Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) .....	19
7.1.2.4.	Vehículo eléctrico de autonomía extendida (E-REV) .....	20
7.1.2.5.	Vehículo eléctrico de pila de combustible- hidrogeno (FCEV) .....	20
7.1.2.6.	Vehículo eléctrico semihíbrido (MHEV)	22
7.1.3.	Potencia .....	22
7.1.3.1.	Potencia de los Vehículos Eléctricos....	23
7.1.4.	Motor eléctrico.....	23
7.1.4.1.	Tipos de motores eléctricos.....	23
7.1.5.	Batería y Autonomía.....	24
7.1.5.1.	Tipos de Baterías .....	27
7.1.5.2.	Autonomía .....	27
7.1.6.	Estaciones de carga .....	28
7.1.6.1.	Carga lenta.....	28
7.1.6.2.	Carga Semi-rápida .....	29
7.1.6.3.	Carga Rápida .....	29
7.2.	Sistema eléctrico de Potencia .....	30
7.2.1.	Demanda de energía eléctrica .....	30
7.2.2.	Carga instalada .....	31
7.2.3.	Curvas de carga .....	32
7.2.4.	Curva de carga diaria .....	32
7.2.5.	Curva de carga anual .....	33
7.2.6.	Factor de carga .....	33
7.2.7.	Factor de Demanda.....	34

7.3.	Impacto medio ambiental generado por los vehículos eléctricos .....	34
7.3.1.	Contaminación acústica.....	34
7.3.2.	Reducción de los gases de efecto invernadero .....	35
7.3.3.	Impacto ambiental de las baterías .....	36
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	37
9.	METODOLOGÍA.....	41
9.1.	Características del estudio .....	41
9.2.	Fases del estudio .....	44
9.3.	Resultados esperados: .....	44
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	45
11.	CRONOGRAMA.....	47
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO .....	49
	REFERENCIAS .....	51
	APÉNDICES .....	55



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Árbol del Problema.....	4
2.	Pila electrolítica.....	21
3.	Clasificación de motores eléctricos de tracción de acuerdo a la dirección del flujo magnético.....	24
4.	Batería.....	26
5.	Arreglo de baterías serio o paralelo .....	26

### TABLAS

I.	Variable.....	42
II.	Cronograma.....	47
III.	Factibilidad del estudio.....	49



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>Co2</b>	Dióxido de carbono
<b>F.C.</b>	Factor de carga
<b>F.D.</b>	Factor de demanda
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>kW/h</b>	Kilowatt hora
<b>P</b>	Potencia
<b>SIN</b>	Sistema Nacional Interconectado
$\Sigma$	Sumatoria
<b>W</b>	Voltios
<b>W</b>	Watts



## GLOSARIO

<b>AMM</b>	El Administrador del Mercado Mayorista, es el encargado de operar el sistema y el mercado eléctrico del país.
<b>Amperios (A)</b>	Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Forma parte de las unidades básicas en el sistema internacional de unidades.
<b>Carga eléctrica (Q)</b>	La carga eléctrica es una propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas a través de campos electromagnéticos.
<b>Corriente alterna (AC)</b>	Flujo variable de corriente eléctrica en la que las cargas eléctricas cambian el sentido del movimiento de manera periódica o ciclos.
<b>Corriente directa (DC)</b>	Flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial y carga eléctrica, que no cambia de sentido con el tiempo.

<b>Corriente eléctrica (A)</b>	Es un fenómeno físico causado por el desplazamiento de una carga (ion o electrón). mide el flujo de carga eléctrica que pasa por un conductor o material por unidad de tiempo.
<b>CNEE</b>	La Comisión Nacional de Energía Eléctrica, es el órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y cuenta con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones.
<b>Demanda eléctrica</b>	Es la intensidad de corriente, o potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar.
<b>Dióxido de carbono</b>	Es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar. Está íntimamente relacionado con el efecto invernadero. el cuerpo humano produce como desecho $Co_2$ cuando utiliza alimentos para obtener energía.
<b>Factor de Carga (FC)</b>	Factor de carga corresponde a la relación entre la demanda promedio de un periodo establecido con respecto a la demanda máxima del mismo periodo de análisis.

<b>Factor de Demanda (FD)</b>	En un intervalo de tiempo $t$ , de una carga, es la razón entre la demanda máxima y la carga total instalada.
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero, son gases que absorben y emiten energía radiante dentro del rango del infrarrojo térmico, provocando el efecto invernadero. Los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y el ozono.
<b>Impacto ambiental</b>	Conocido como impacto antrópico o impacto antropogénico, es la alteración o modificación que causa una acción humana sobre el medio ambiente.
<b><i>Kilowatt hora</i></b>	Un kWh o <i>kilovatio</i> hora es una unidad de medida utilizada para contabilizar el consumo eléctrico realizado en un período de tiempo.
<b>Potencia</b>	Es una medida de la tasa a la que se realiza un trabajo (o del mismo modo, a la que se transfiere energía).
<b>Potencia eléctrica</b>	La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o

absorbida por un elemento en un momento determinado.

**SNI**

Sistema Nacional Interconectado, es el conjunto de instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda la infraestructura eléctrica.

**Sumatoria**

Es una notación matemática que permite representar sumas de varios sumandos, n o incluso infinitos sumandos, evitando el empleo de los puntos suspensivos o de una explícita notación de paso al límite.

**Voltaje eléctrico**

Magnitud encargada de establecer la diferenciación de potencial eléctrico que existe entre dos puntos. Es por esto que también se le conoce como tensión eléctrica, o diferencia de potencial eléctrica.

**Watt**

Unidad de potencia del Sistema Internacional, de símbolo W, que equivale a la potencia capaz de conseguir una producción de energía igual a 1 julio por segundo.

## **RESUMEN**

La siguiente investigación trata los temas sobre los impactos ambiental y al sistema nacional interconectado derivado del uso de vehículos eléctricos, con el objetivo de estimar si el sistema eléctrico nacional de Guatemala cuenta con la capacidad suficiente para generar y soportar la demanda de energía eléctrica generada por estos medios de transporte, así como el manejo de los residuos producidos por los mismos.

Para realizar este estudio se obtendrán información y data obtenida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), Administrador del Mercado Mayorista (AMM), Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN), Ministerio de Energía y Minas (MEM) y fuentes confiables. Se utilizarán métodos estadísticos para relacionar la potencia demandada de los vehículos eléctricos con la capacidad de sistema nacional interconectado. Se describirán los impactos ambientales producidos, así como el manejo y medidas de mitigación.



# 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático está afectando al planeta y este está afectando la calidad de vida de los seres humanos, dando por la contaminación de los gases de efecto invernadero producido por la actividad humana y parte de esto es la movilidad con vehículos con motores de combustión interna, por esta razón en el planeta se está teniendo una tendencia para usar tecnologías nuevas que sean más amigables con el medio ambiente, como lo son los vehículos eléctricos.

Los servicios de electricidad en el país son suministrados por medio del sistema nacional interconectado y a través de sistemas aislados (redes eléctricas comunales o en fincas particulares, paneles fotovoltaicos, energía eólica, principalmente).

Los vehículos eléctricos son más antiguos que los impulsados por combustibles fósiles. En el año 1830, en Escocia ya existía un vehículo completamente eléctrico y, en ese entonces, llegaron a ser tan populares como los de gasolina. cuando la electricidad fue uno de los métodos preferidos para la propulsión de vehículos de motor, proporcionando un nivel de comodidad y facilidad de operación que no pudo ser alcanzado por los coches de gasolina de la época.

El motor de combustión interna es el método dominante, pero la energía eléctrica se ha mantenido en algunos como los trenes y vehículos más pequeños de todo tipo.

Los vehículos eléctricos utilizan uno o más motores eléctricos o de tracción para poder movilizarse. Existen tres tipos principales tipos de vehículos eléctricos, están los que se alimentan directamente de una estación de alimentación externa, los que funcionan con electricidad almacenada en baterías y los que son alimentados por un generador bordo de la unidad, tales como un motor que funciona con biocombustible (vehículo híbrido), o una célula de combustible de hidrógeno.

Estas tecnologías se utilizan en los vehículos particulares, trenes, camiones, aviones, barcos, motocicletas eléctricas y las naves espaciales.

En esta investigación se abarca el impacto ambiente y al sistema nacional interconectado de Guatemala, para la parte energética se analiza la matriz de generación eléctrica, así como la capacidad eléctrica de la infraestructura de esta. Adicional a esto se mencionan los impactos ambientales derivados de los residuos de estos medios de transporte que están surgiendo día a día.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La contaminación global nos exige cambiar nuestras acciones y nuestro estilo de vida, una de las acciones más importantes es cambiar a un medio de transporte más limpio y amigable con el medio ambiente, actualmente en el mundo se considera utilizar vehículos eléctricos para darle una solución a este problema que es muy grave para nuestro planeta.

Estos vehículos poseerán una batería eléctrica de mayor capacidad en función de la autonomía del vehículo eléctrico, estos necesitarán ser recargados a través de las estaciones de carga las cuales están conectadas a la red eléctrica, estos serán una carga eléctrica considerable, así como sus residuos que son un tema muy importante a considerar.

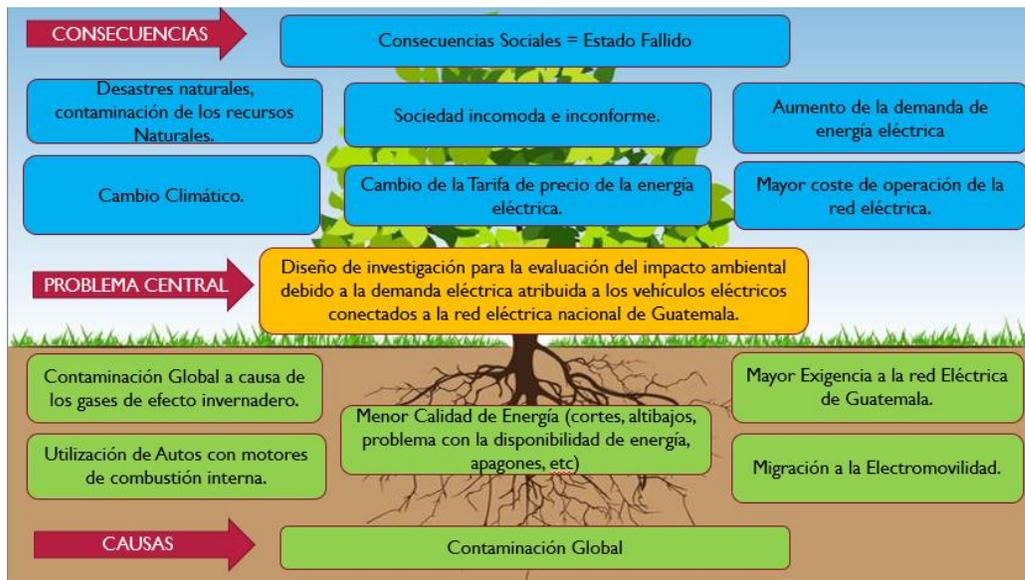
Según datos de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) en la ciudad de Guatemala existen 551 vehículos eléctricos a la fecha del 13/06/22. Actualmente la gran mayoría de vehículo eléctrico son híbridos no enchufables (con motor térmico de gasolina/gasoil y motor eléctrico), a un futuro muy próximo los vehículos eléctricos serán híbridos enchufables o totalmente eléctricos.

El parque vehicular de Guatemala creció en los últimos 10 años, este crecimiento representa un aumento del uso de combustibles fósiles los cuales emiten gases de efecto invernadero a la atmosfera del planeta.

En este documento se desea evaluar los impactos tanto ambientales como de analizar si el sistema nacional interconectado cuenta con la capacidad necesaria para generar y soportar dicha demanda de energía demandada por estos medios de transporte, proponer un plan de mitigación para los residuos de estos.

El estudio mostrará tomara como base de referencia la cantidad de vehículos con motor de combustión interna para estimar la cantidad de vehículos eléctricos que habría en Guatemala, partiendo de este dato se estimara la demanda producida por estos vehículos y con esto comparar con la capacidad del sistema nacional interconectado, así también se analizara las emisiones de Co2 producido por los vehículos eléctricos vs las emisiones de Co2 producido para generar la energía eléctrica demanda por estos vehículos.

Figura 1. **Árbol del Problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con PowerPoint (2022).

## **2.1. Pregunta principal**

¿Se puede evaluar el Impacto ambiental debido a la demanda eléctrica atribuida los vehículos eléctricos conectados a la red eléctrica de Guatemala?

## **2.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Tiene el sistema nacional interconectado la capacidad suficiente para cubrir la nueva demanda generada por los vehículos eléctricos?
- ¿Existe un plan de gestión de la demanda de energía eléctrica para el incremento del uso de vehículos eléctricos?
- ¿Qué medidas de manejo y mitigación se pueden implementar para los residuos generados de los vehículos eléctricos?



### **3. JUSTIFICACION**

La línea de investigación del presente documento trata sobre el Impacto ambiental y al sistema nacional interconectado por el uso de vehículos eléctricos en Guatemala.

Como lo indica el Informe de Sostenibilidad (2020), en la actualidad, el sector eléctrico representa un eje relevante para el crecimiento de Guatemala, atrayendo tanto a inversionistas locales como extranjeros. Por lo tanto, es de suma importancia mantener el sistema eléctrico en óptimas condiciones de operación para satisfacer las necesidades del país, así como una nueva demanda de energía eléctrica generada por el uso de los vehículos eléctricos.

Evaluar que impactos ambientales se generan por la utilización de vehículos eléctricos y que impactos técnicos se presentan para proponer un plan de gestión para mantener el sistema eléctrico en buen funcionamiento y eficiente.

La población de Guatemala sería beneficiada debido a que tendrá un mejor medio ambiente como lo es una mejora en la calidad de aire, menos de ruido, menos gases de efecto invernadero; también una mejor calidad de energía eléctrica como lo es menos cortes de energía eléctrica.

La investigación es pertinente debido a que tiene relación con la maestría ya que toca el tema tanto ambiental como el tema energético.



## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Evaluar el impacto ambiental debido a la demanda eléctrica atribuida a los vehículos eléctricos conectados a la red eléctrica nacional de Guatemala.

### **4.2. Específicos**

- Cuantificar si el sistema nacional interconectado de Guatemala tiene la capacidad suficiente para cubrir la demanda de energía eléctrica derivado por el incremento del uso de vehículos eléctricos.
- Proponer un plan de gestión para cubrir la nueva demanda de energía eléctrica generada por el incremento del uso de vehículos eléctricos.
- Proponer medidas de mitigación para el manejo y trato los residuos generados por los vehículos eléctricos en Guatemala.



## **5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCION**

En esta investigación se pretende estudiar el impacto ambiental que generan el uso de vehículos eléctricos, así como proponer un plan de gestión para la cubrir esta nueva demanda generada por dichos vehículos.

La identificación de los impactos ambientales y técnicos que los vehículos eléctricos será la base para poder cuidar nuestro planeta y nuestro país de una contaminación a gran escala, así como también contar con un sistema eléctrico confiable y seguro.

Para identificar los diferentes tipos de impactos ambientales y técnicos al sistema de nacional interconectado que los vehículos eléctricos generan, es necesario que se realice un análisis de cuanta energía eléctrica demandan esta tecnología, como manejar sus residuos, realizar una evaluación del sistema eléctrico.

La utilización de vehículos eléctricos es un tema poco conocido a nivel nacional y regional ya que esta nueva tecnología de los medios de transporte es relativamente nueva, aunque se tienen registros que estos se surgieron hace más de un siglo, por eso es de suma importancia realizar un análisis de los impactos que esta tecnología genera y que seguramente crecerá en la ciudad de Guatemala.

Derivado que la Maestría de Energía y Ambiente, existe el área ambiental y energética esta investigación contribuye específicamente a identificar los impactos ambientales y técnicos que generan los vehículos eléctricos para poder reducir la contaminación del medio ambiente y garantizar la estabilidad energética en Guatemala.

Al contar con conocimientos en la ingeniería eléctrica y en el área ambiental, esta investigación busca identificar los posibles impactos ambientales y técnicos derivados del incremento del uso de vehículos eléctricos en Guatemala

## 6. ANTECEDENTES

Actualmente como dice Diez Gonzales (2019) "El vehículo eléctrico está cada vez más demandado debido a la toma de conciencia sobre el cambio climático, y a las ventajas que ofrece, como la disminución de las emisiones de gases contaminantes" (p.1).

"Pero es una tecnología que se encuentra aún en pleno desarrollo con el fin de aumentar la capacidad de las baterías y por tanto la autonomía, algo clave de estos vehículos ya que le permite competir con el vehículo convencional" (Diez Gonzales, 2019, p. 1).

En una civilización en constante avances tecnológicos, las condiciones medioambientales también cambian e influyen considerablemente en el desarrollo sostenible tanto económico como social, el uso de estos medios de transporte se encuentra en fases iniciales de lo que será una revolución en la industria del transporte.

Según Soto, (2016) "El vehículo eléctrico consume electricidad, que una vez creada no emite gases contaminantes, pero si se produce dicha electricidad mediante combustibles fósiles, no se estará ofreciendo una solución definitiva al grave problema medio ambiental que existe hoy en día" (p. 56).

Aunque es cierto que el problema de la alta polución en la Ciudad se vería reducido, ya que los focos de contaminación serían los grupos generadores de electricidad, no el propio vehículo.

“Para hacer posible que el vehículo eléctrico sea una verdadera solución medioambiental, la generación de electricidad debe estar ligada en mayor medida a las energías renovables” (Soto, 2016, p. 56).

Como se menciona GIZ (2021), la existencia de infraestructura de carga corresponde a uno de los elementos necesarios más importantes para la adopción de electromovilidad.

Anaya, F. (2017) “nos cuenta que, las proyecciones de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2009), sugieren que el uso de combustibles líquidos en el mundo aumentará 80% entre los años 2005 y 2050” (p. 12).

Dentro del consumo total, el transporte seguirá representado el 27% del total por estar ampliamente dominado por vehículos en base a combustibles fósiles.

Además, la IEA señala que 47% del combustible total consumido por el sector transporte en el año 2006 correspondió a vehículos livianos, y proyecta que este consumo se duplicará para el año 2050. (Anaya, 2017)

Es de suma importancia entender las razones y los diferentes tipos de escenarios que provocarán la utilización de vehículo eléctrico, y como será su impacto en el medio ambiente y en el sistema eléctrico

El análisis por parte de (Anaya, 2017) el cual dice que, “para la estimación cuantitativa del impacto económico y medio ambiental de los vehículos eléctricos en Guatemala, se consideran cuatro escenarios: de referencia, pesimista, promedio y optimista” (p. 6).

El escenario de referencia asume que la situación actual del parque nacional vehicular se mantiene inalterada y no involucra vehículos eléctricos hasta el año 2030. (Anaya, 2017)

“El escenario pesimista, definido en base al porcentaje de vehículos eléctricos que puede competir con los precios de adquisición de los vehículos de combustión interna” (Anaya, 2017, p. 6).

Asume que se desplaza la venta del 20% de los vehículos nuevos de combustión interna por vehículos eléctricos entre 2017 y 2021, 50% entre 2022 y 2026, y 70% en el período 2027-2030. (Anaya, 2017)

El escenario promedio contempla el desplazamiento de la venta del 30% de los vehículos nuevos de combustión interna por vehículos eléctricos entre 2017 y 2021, 70% entre 2022 y 2026, y 80% en el período 2027-2030. (Anaya, 2017)

“Además, el escenario considera la implementación de un programa de créditos blandos para recambiar vehículos con antigüedad igual o superior a 15 años” (Anaya, 2017, p. 6).

Escenario optimista plantea condiciones de mayor penetración de vehículos eléctricos. Asume que se desplaza la venta del 80% de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos entre 2017 y 2021, 90% entre 2022 y 2030 (Anaya, 2017).

“Contempla créditos blandos para vehículos existentes, implementación de un programa de recambio para autos con antigüedad igual o superior a 30 años, llega a la conclusión que la red eléctrica de Guatemala no se vería afectada” (Anaya,2017, p. 6).

## **7. MARCO TEORICO**

Se profundiza los conocimientos de los temas de estudio para la comprensión de la misma.

### **7.1. Vehículo eléctrico**

Los vehículos eléctricos utilizan energía eléctrica para convertirla en energía cinética, esta energía se almacena en baterías que almacenan energía eléctrica por medio de reacción química los cuales utilizan de litio (aunque existen otros tipos, como veremos más adelante).

Esta energía almacenada alimenta a un motor eléctrico, la cual es transmitida por medio de los elementos eléctricos y mecánicos a las ruedas del vehículo para su movimiento y funcionamiento.

#### **7.1.1. Historia del Vehículo Eléctrico**

Los vehículos eléctricos son más antiguos que los impulsados por combustibles fósiles. En 1830, en Escocia ya existía un vehículo completamente eléctrico, en ese entonces, llegaron a ser tan populares como los de gasolina.

Cuando la electricidad fue uno de los métodos preferidos para la propulsión de vehículos de motor, proporcionando un nivel de comodidad y facilidad de operación que no pudo ser alcanzado por los coches de gasolina de la época.

El motor de combustión interna es el método dominante, pero la energía eléctrica se ha mantenido en algunos como los trenes y vehículos más pequeños de todo tipo.

### **7.1.2. Tipos de Vehículos Eléctricos**

Actualmente existen diferentes tipos de vehículos eléctricos que han manifestado como posibles alternativas viables, para sustituir a los vehículos con motores de combustión interna, estos son:

#### **7.1.2.1. Vehículo eléctrico puro (BEV)**

Los vehículos 100% eléctricos son propulsados solo por un motor eléctrico y con ausencia de cualquier tipo de combustible. (Díez González, 2019)

“Se alimentan de la energía eléctrica acumulada en baterías, que son recargadas enchufando el vehículo a la red eléctrica o aprovechando la energía de la frenada” (Díez González, 2019, p. 33).

“El sistema de frenado regenerativo les permite aprovechar la energía de frenado y les hace más eficientes. Además, destacar su bajo consumo, nula emisión de gases contaminantes” (Díez González, 2019, p. 33).

Pero no todo son ventajas, uno de los grandes problemas de dichos vehículos son las baterías que proporcionan una baja autonomía, así como su alto coste y peso. Estos vehículos son útiles para cortas distancias (Díez González, 2019).

### **7.1.2.2. Vehículo eléctrico híbrido (HEV)**

“Estos dos tipos de motores tienen la peculiaridad de ser capaces de funcionar conjuntamente o únicamente de modo eléctrico gracias a las baterías” (Díez González, 2019, p. 34).

En el momento en el que las baterías se descargan hasta un mínimo, empieza a funcionar el motor de combustión, hasta que las baterías vuelvan a tener la suficiente energía. (Díez González, 2019)

“La mayor parte del trabajo lo realiza el motor de combustión, lo que hace que la complejidad de este tipo de vehículos sea mayor y por tanto aumente su precio de mercado” (Díez González, 2019, p. 34).

### **7.1.2.3. Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)**

“Dispone de dos motores uno eléctrico y otro de gasolina o Diesel, la diferencia radica en las baterías: que necesitan ser cargadas a la red eléctrica” (Díez González, 2019, p. 35).

“Estas baterías aumentan el precio del vehículo debido a una mayor capacidad, permite reducir el nivel de contaminación en comparación con VEH, en este tipo de vehículos el tiempo de uso del motor eléctrico es mayor” (Díez González, 2019, p. 35).

“Los dos motores pueden funcionar independiente o conjuntamente, pero la autonomía ligada al motor eléctrico sigue siendo un hándicap y por tanto la máxima potencia recae sobre el motor de combustión” (Díez González, 2019, p. 35).

#### **7.1.2.4. Vehículo eléctrico de autonomía extendida (E-REV)**

“Es una combinación del híbrido y eléctrico, está compuesto de un motor eléctrico y de combustión. El motor eléctrico es el encargado de mover y generar la tracción” (Díez González, 2019, p. 36).

Las baterías que alimentan ese motor se recargan de la red eléctrica y cuando éstas se han descargado el motor de combustión a través de un generador las recarga, añadiendo una autonomía extra. (Díez González, 2019)

“La capacidad de las baterías de este tipo de vehículos es mayor que la del híbrido enchufable, ofreciendo una autonomía de hasta 240 km, más 200 km adicionales del motor de apoyo” (Díez González, 2019, p. 36).

“El motor de combustión no actúa directamente sobre las ruedas, sino que lo hace sobre un generador, que recarga las baterías cuando la energía obtenida de la red eléctrica se encuentre bajo mínimos” (Díez González, 2019, p. 36).

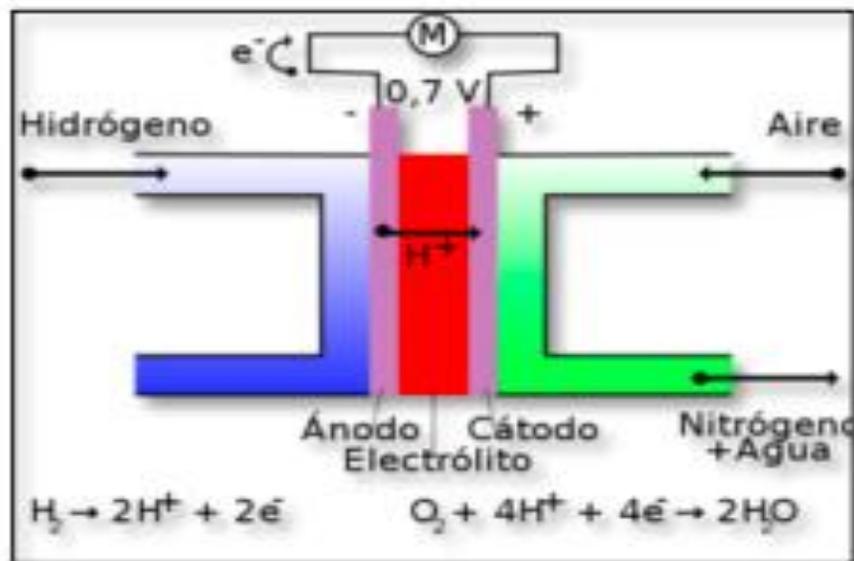
#### **7.1.2.5. Vehículo eléctrico de pila de combustible-hidrogeno (FCEV)**

Es similar al E-REV pero con la usencia del motor térmico, que es sustituido por la pila de combustible de hidrogeno y tanques de hidrogeno

cilíndricos de fibra de carbono para soportar las altas presiones. (Díez González, 2019)

“La pila electrolítica, en el ánodo se oxida el hidrogeno, en el cátodo se reduce el oxígeno y un electrolito. Los electrones viajan al cátodo a través de un circuito, mientras que los protones viajan a través del electrolito” (Díez González, 2019, p. 37).

Figura 2. Pila electrolítica



Fuente: Díez González (2019). Principios Básicos Del Vehículo Eléctrico. Consultado el 05 de febrero de 2023. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/222807924.pdf>

Actualmente el hidrogeno que se utiliza procede de carbón, y ésta es altamente contaminante, por tanto, aunque el coche eléctrico de combustible no emita emisiones, la obtención de hidrogeno sí lo hace. (Díez González,2019)

### **7.1.2.6. Vehículo eléctrico semihíbrido (MHEV)**

“Son semihíbridos, funcionan con sistemas de 48 voltios, híbridos parciales o incluso como híbridos ligeros” (Díez González,2019, p. 39).

Posee un motor térmico, éste tiene un arranque alternador (generador) que proporciona giro y potencia al motor de combustión y que está unido a él mediante un sistema de correas, además de recargar las baterías en las deceleraciones. (Díez González, 2019)

“Este tipo de vehículos tienen una batería extra de litio, donde almacena energía para las aceleraciones y un sistema de gestión de electricidad de 48v”. (Díez González, 2019, p. 39).

“Una ventaja de este de vehículos es que podemos reducir las emisiones de CO2, no a niveles de los híbridos normales, pero de forma más asequible para el consumidor reduciendo la inversión inicial” (Díez González, 2019, p. 39).

### **7.1.3. Potencia**

Se define como la energía o trabajo consumido o producido en un determinado tiempo. La unidad de medida de potencia es el vatio (W). Relaciona la tensión aplicada y la intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico.

La ecuación de potencia se puede dar de las siguientes maneras:

$$P = \frac{\text{Trabajo (Julios)}}{\text{Tiempo (Seg)}} = \text{Watt(W)} = \text{Corriente(A)} * \text{Voltaje(V)}$$

### **7.1.3.1. Potencia de los Vehículos Eléctricos**

La potencia de los vehículos eléctricos mayormente se nos expresada en kilovatios (kW), debido a que la potencia de los motores eléctricos se expresa en estas unidades de medida.

### **7.1.4. Motor eléctrico**

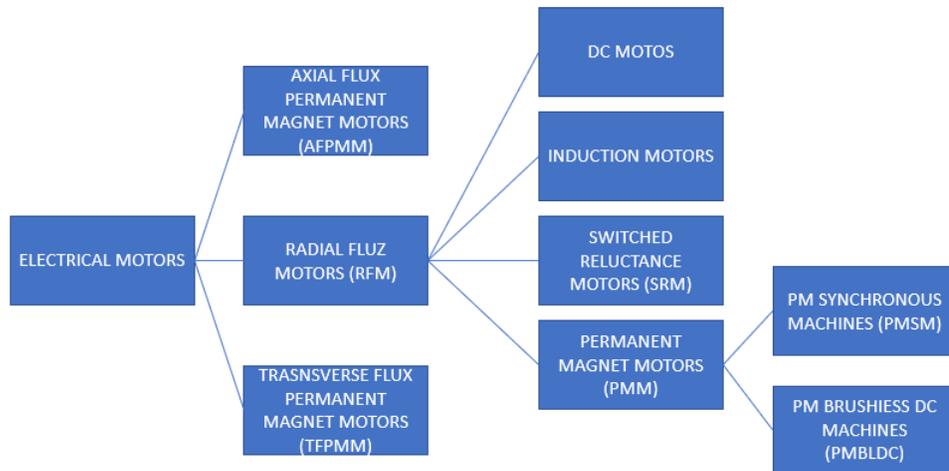
Es una máquina eléctrica rotatoria que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Algunos motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en eléctrica funcionando como generadores.

#### **7.1.4.1. Tipos de motores eléctricos**

Hay diferentes tipos de motores eléctricos con diferentes aplicaciones, en esta sección nombraremos a los de tracción.

- Motores de flujo radial.
- Motor de corriente continua.
- Motor de reluctancia conmutada.
- Motores de imanes permanentes.
- Motor de inducción.
- Motores de flujo axial de imanes permanentes.
- Motores de flujo transversal.

Figura 3. **Clasificación de motores eléctricos de tracción de acuerdo con la dirección del flujo magnético.**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Martínez Escudero (2017, pág. 69).  
 Propulsión en vehículos eléctrico. Consultado el 05 de febrero de 2023 Recuperado de:  
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf?sequence=1>

### 7.1.5. Batería y Autonomía

Una batería recargable es un dispositivo que almacena energía eléctrica obtenida de reacciones químicas de oxidación/reducciones reversibles, compuesta de 2 electrodos (negativo o ánodo, positivo o cátodo), un electrolito y un separador. (Díez González, 2019)

La capacidad nos indica la cantidad de energía eléctrica que la batería del vehículo eléctrico puede almacenar en sus celdas, esta se mide en *kilovatios-hora* (kWh o kW-h).

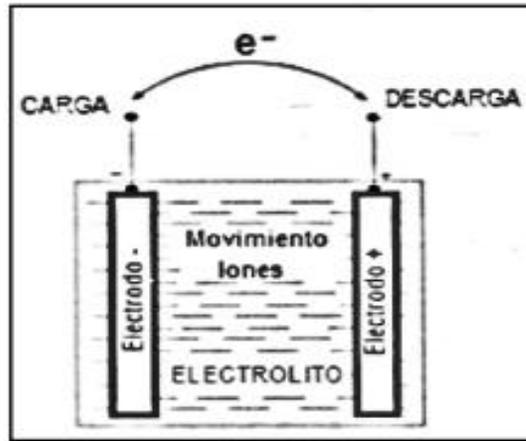
Electrodo positivo: “Es un óxido que se reduce durante el proceso de descarga, y cuyos materiales están en estado sólido”. (Díez González, 2019, p. 21).

Electrodo negativo: “Es un metal o una aleación que se oxida durante el proceso de descarga, y cuyos materiales están también en estado sólido” (Díez González, 2019, p. 21).

Electrolito: “Es un material que permite la conducción iónica entre el ánodo y el cátodo, y puede ser líquido, gel o sólido y ácido o alcalino” (Díez González, 2019, p. 21).

Separador: “Es una capa de material aislante eléctrico, que tiene por misión separar físicamente el electrodo, almacenar e inmovilizar el electrolito” (Díez González, 2019, p. 21).

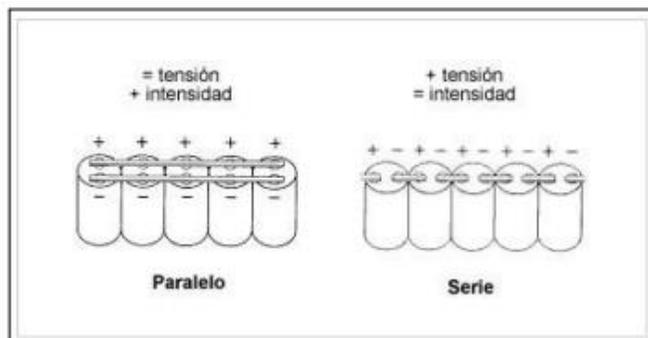
Figura 4. **Batería**



Fuente: Díez González (2019, pág. 21). Principios Básicos Del Vehículo Eléctrico. Consultado el 05 de febrero de 2023. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/222807924.pdf>

Las celdas se unirán en serie o en paralelo, para conseguir un voltaje y una capacidad de almacenamiento determinados, Díez González (2019, pág. 22)

Figura 5. **Arreglo de baterías serio o paralelo**



Fuente: Díez González (2019, pág. 22). Principios Básicos Del Vehículo Eléctrico. Consultado el 05 de febrero de 2023. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/222807924.pdf>

### **7.1.5.1. Tipos de Baterías**

Existen varios tipos de Baterías actualmente, estas tienen diferentes características y aplicaciones, a continuación, las nombraremos:

- Plomo-ácido.
- Baterías de Plomo AGM.
- Baterías de Plomo GEL.
  - Níquel Cadmio (Ni-Cd).
  - Níquel hidruro metálico (Ni-MH).
  - Litio.
- Ion litio.
- Batería de polímero de litio (Li-PO).
  - Batería ZEBRA.
  - Baterías de estado sólido.

### **7.1.5.2. Autonomía**

La autonomía se refiere a la cantidad de kilómetros recorridos o tiempo de uso de un vehículo eléctrico con una sola carga, esta depende de las baterías de los vehículos eléctricos, las cuales dependen de la cantidad de energía que es capaz de almacenar.

Además, el precio de mercado, la velocidad, duración y tiempo de recarga, son también condicionantes. (Díez González, 2019).

“Por tanto, la evolución y mejora del coche eléctrico se centra en aumentar la capacidad de las baterías, con un menor tamaño, materiales más resistentes

y a un precio menor que permita abaratar el precio del vehículo eléctrico” (Díez González, 2019, p. 22).

### **7.1.6. Estaciones de carga**

A continuación, se presentan las características y clasificación de los centros de carga para vehículos eléctricos, según el tiempo recarga, potencia de carga e intensidad demanda en cada una de ellas.

#### **7.1.6.1. Carga lenta**

Es el modo de recarga más extendido entre los vehículos eléctricos ya que es la más sencilla y accesible porque se puede encontrar en cualquier tomacorriente doméstico. ( Díez González, 2019).

Este tipo de recarga se lleva a cabo mediante corriente alterna monofásica a 230 V, 16 A y con 3,6 kW de potencia máxima, al igual que en las viviendas. Es ideal para cargas durante la noche ya que es cuando menos demanda hay y por tanto menor será el precio *kW/h*. (Díez González, 2019).

El tiempo de carga varía entre 5-8 horas. Tiene una variante que utiliza corriente alterna trifásica a 400 V y 16 A, pudiendo llegar a los 11 kW de potencia, que deja cargas completas en 2-3 horas. (Díez González, 2019,p. 43).

### **7.1.6.2. Carga Semi-rápida**

Ubicada en zonas públicas, semipúblicas y privadas como aparcamientos de flotas, centros comerciales, etc. Alimentada por una corriente monofásica de 230V, 32A y 8-14kW, lo que lleva a un tiempo de carga entre 1,5-3 horas. (Díez González, 2019).

“Por tanto, cuanto más rápida sea la carga mayor será la potencia e intensidad necesarias. Esto hace necesario un control de temperatura e incluso de refrigeración para evitar un sobrecalentamiento, ya que muchas baterías tienen peligro de entrar en combustión” (Díez González, 2019, p. 43).

Tiene una variante de carga con corriente alterna trifásica de 400 V, hasta 63 A y de 22 a 43 kW, llegando a recargar una batería en 30 minutos. (Díez González, 2019, p. 44).

### **7.1.6.3. Carga Rápida**

“Es el sistema de recarga más potente ya que requiere de una corriente continua de hasta 600 V, 400A, llegando a alcanzar los 240 kW de potencia” (Díez González, 2019, p. 44).

Este tipo de recarga permite cargar el 80 % de una batería en un intervalo de 5 a 30 minutos. También mediante el uso de corriente alterna, 500 V, 250 A y 220 kW se alcanzan tiempos de recarga de hasta 10 minutos para la recarga de un 80% su capacidad. (Díez González,2019)

## **7.2. Sistema eléctrico de Potencia**

Un sistema eléctrico de potencia tiene como finalidad la producción de energía eléctrica en los centros de generación (centrales térmicas, hidráulicas, eólicas, solares, etc.) y transportarla hasta los centros de consumo (ciudades, poblados, centros industriales, turísticos, etc.). (Ramírez, 2012)

“Para ello, es necesario disponer de la capacidad de generación suficiente y entregarla con eficiencia y de una manera segura al consumidor final” (Ramírez, 2012, p. 1).

El logro de este objetivo requiere la realización de grandes inversiones de capital, de complicados estudios y diseños, aplicación de normas nacionales e internacionales muy concretas, de riguroso planeamiento, del empleo de conceptos de Ingeniería Eléctrica y de tecnología. (Ramírez, 2012, p. 1)

Así también realizar investigación sobre materiales más económicos y eficientes, de un buen procedimiento de construcción e interventoría y por último de la operación adecuada con mantenimiento riguroso que garantice el suministro del servicio de energía con muy buena Calidad. (Ramírez, 2012)

### **7.2.1. Demanda de energía eléctrica**

Según Calvo (1980, p. 5) “La demanda de una instalación o sistema, es la carga en los terminales receptores de dicha instalación o sistema, promediada sobre un intervalo específico de tiempo”.

Como indica Alvarado (2017, p. 8) “La demanda eléctrica es la intensidad de corriente, o potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar”.

Así también se puede definir como lo dice Twenergy (2019, pág. 1) “Se entiende por demanda eléctrica a la cantidad de electricidad que una serie de consumidores necesitan para abastecer sus necesidades”.

Por tanto, la demanda eléctrica nacional es el resultado de la suma de toda la electricidad necesaria para dar suministro a todos los consumidores del territorio nacional: industrias, empresas, oficinas, comercios, hogares, centros públicos, alumbrado. (Twenergy,2019)

De acuerdo con Ramírez (2012, p. 21) “Para establecer una demanda es indispensable indicar el intervalo de demanda ya que sin él no tendría sentido práctico. La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR, A, etc”.

“La variación de la demanda en el tiempo para una carga dada origina el ciclo de carga que es una CURVA DE CARGA (demanda vs tiempo)” Ramírez (2012, pág. 21).

### **7.2.2. Carga instalada**

Es la suma de todas las potencias eléctricas nominales de los aparatos eléctricos de consumo conectados a un sistema o parte de él, se expresa generalmente en kVA, MVA, kW o MW, se expresa como:

$$CI = \sum \text{Potencias nominales de las cargas (w)}$$

### **7.2.3. Curvas de carga**

Son graficas que representan el consumo de energía eléctrica o de potencia de cargas conectadas al sistema eléctrico en un determinado periodo tiempo.

### **7.2.4. Curva de carga diaria**

Estas curvas se dibujan para el día pico de cada año del período estadístico seleccionado. Las curvas de carga diaria están formadas por los picos obtenidos en intervalos de una hora para cada hora del día. (Ramírez,2012)

“Las curvas de carga diaria dan una indicación de las características de la carga en el sistema, sean estas predominantemente residenciales, comerciales o industriales y de la forma en que se combinan para producir el pico” (Ramírez (2012, pág. 21).

Su análisis debe conducir a conclusiones similares a las curvas de carga anual, pero proporcionan mayores detalles sobre la forma en que han venido variando durante el período histórico y constituye una base para determinar las tendencias predominantes de las cargas del sistema. (Ramírez, 2012)

permite seleccionar en forma adecuada los equipos de transformación en lo que se refiere a la capacidad límite de sobrecarga, tipo de enfriamiento para transformadores de subestaciones y límites de sobrecarga para transformadores de distribución. (Ramírez, 2012)

### **7.2.5. Curva de carga anual**

Las curvas de carga anual están formadas por los valores de la demanda a la hora pico en cada mes, permiten una visualización de los crecimientos y variaciones de los picos mensuales y anuales. (Ramírez, 2012)

“El análisis de las causas de estas variaciones debe conducir a conclusiones prácticas sobre el comportamiento del sistema y los factores que lo afectan” (Ramírez, 2012, p. 23).

### **7.2.6. Factor de carga**

“Factor de carga corresponde a la relación entre la demanda promedio de un periodo establecido con respecto a la demanda máxima del mismo periodo de análisis” (Orellana y Ramón, 2017, p. 20).

$$F. C. = \frac{\text{Demanda Promedio}}{\text{Demanda Máxima}} = \frac{Dp}{DM}$$

El F.C tiene valores comprendidos entre 0 y 1, considerando el valor de 1 como el F.C ideal, esto se da cuando la demanda máxima y la demanda promedio son iguales. (Orellana y Ramón, 2017)

“Por ejemplo, si se tiene un F.C de 0.2, este mostrará una curva de la demanda diaria con un gran número en variaciones con respecto a la demanda pico” (Orellana y Ramón, 2017, p. 20)

Por lo contrario, si los valores que se aproximan a 1 por ejemplo, se tiene un F.C de 0.9, este mostrará una curva de la demanda diaria con menor número de variaciones con respecto a la demanda pico. (Orellana y Ramón, 2017, p. 20)

### **7.2.7. Factor de Demanda**

El factor de demanda en un intervalo de tiempo  $t$ , de una carga, es la razón entre la demanda máxima y la carga total instalada, indica el grado al cual la carga total instalada se opera simultáneamente. (Ramírez, 2012, p. 26)

Por lo general es menor que 1, siendo 1 cuando en el intervalo considerado, todos los aparatos conectados al sistema estén absorbiendo sus potencias nominales, lo cual es muy improbable. (Ramírez, 2012)

La expresión matemáticamente de este concepto es:

$$F.D. = \frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Carga Instalada}} = \frac{DM}{CI}$$

### **7.3. Impacto medio ambiental generado por los vehículos eléctricos**

El motivo principal por la que se desea cambiar a los vehículos eléctricos radica en el impacto ambiental que estos tendrán en el planeta. A continuación, describiremos las más relevantes.

#### **7.3.1. Contaminación acústica**

El Vehículo Eléctrico aporta mejoras en la contaminación acústica. El principal causante del ruido de las ciudades es el tránsito de vehículos, provoca un nivel sonoro de más de 70 dB en la mayoría de las calles. (Vicente, 2011)

“La contaminación acústica constituye uno de los focos principales de conflictividad social y afecta a la salud de las personas en forma de estrés, fatiga, trastorno del sueño, etc” (Vicente, 2011, p. 93)

“La sustitución progresiva de los vehículos de motor de combustión por vehículos eléctricos supondrá una importante reducción del nivel sonoro de determinadas zonas, hoy en día excesivo” (Vicente, 2011, p. 93)

### **7.3.2. Reducción de los gases de efecto invernadero**

El vehículo eléctrico presenta importantes diferencias con respecto a los vehículos de combustión interna en cuanto a la emisión de gases contaminantes, ya que el vehículo eléctrico no emite ningún tipo de gas durante su funcionamiento ni su recarga. (Vicente, 2011)

“Una implantación de estos vehículos supondría una mejora en inmediata en cuanto a calidad del aire en los núcleos urbanos” (Vicente, 2011, p. 93).

Se ha estimado que por cada 1.000 vehículos eléctricos que se pusiesen en funcionamiento en una ciudad se conseguiría una reducción 30 toneladas anuales de gases contaminantes (CO, NOx, HC). (Vicente, 2011)

Pese a ello, cabe destacar que la generación de energía eléctrica lleva implícita una emisión de gases contaminantes a la atmosfera debido a que el mix de generación cuenta con un importante porcentaje de centrales térmicas. (Vicente, 2011)

“Esto quiere decir que el incremento del consumo de electricidad con el fin de recargar los nuevos vehículos eléctricos implicaría a su vez un incremento de la emisión de gases” (Vicente, 2011, p. 93).

La de generación de electricidad mediante fuentes de energía renovables es buena para esta tecnología, ya que, si sigue aumentando este tipo de generación se podría indicar que la emisión de gases contaminantes debido a los vehículos eléctricos es mínima. (Vicente, 2011)

### **7.3.3. Impacto ambiental de las baterías**

“Las baterías son el elemento clave del vehículo eléctrico, por lo que se ha contemplado también el impacto medioambiental que pueden causar” (Vicente, 2011, p. 94).

“Cabe destacar que entre los componentes de las baterías se incluyen metales pesados y compuestos químicos que pueden ser perjudiciales para el entorno” (Vicente, 2011, pág. 94).

“Dada la dificultad de tratamiento de estos residuos, hoy en día ya existen plantas de tratamiento y reciclaje de baterías donde se pueden recuperar una parte de sus componentes o, si no es posible, neutralizar el potencial contaminante” (Vicente, 2011, p 94).

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEORICO

#### 1.1. Vehículo Eléctrico

1.1.1. Historia del Vehículo Eléctrico

1.1.2. Tipos de vehículos eléctricos

1.1.2.1. Vehículo eléctrico puro (BEV)

1.1.2.2. Vehículo eléctrico híbrido (HEV)

1.1.2.3. Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)

1.1.2.4. Vehículo eléctrico de autonomía extendida (E-REV)

1.1.2.5. Vehículo eléctrico de pila de combustible-hidrogeno (FCEV)

1.1.2.6. Vehículo eléctrico semihíbrido (MHEV)

1.1.3. Potencia

1.1.3.1. Potencia eléctrica de los vehículos eléctricos

1.1.4. Motor eléctrico

- 1.1.4.1. Tipos de motores eléctricos
  - 1.1.5. Batería y autonomía
    - 1.1.5.1. Tipos de Baterías
    - 1.1.5.2. Autonomía
  - 1.1.6. Estaciones de carga
    - 1.1.6.1. Carga lenta
    - 1.1.6.2. Carga Semi-rápida
    - 1.1.6.3. Carga Rápida
- 1.2. Sistema Eléctrico de Potencia
  - 1.2.1. Demanda de energía eléctrica
  - 1.2.2. Carga Instalada
  - 1.2.3. Curvas de carga
  - 1.2.4. Curva de carga diaria
  - 1.2.5. Curva de carga anual
  - 1.2.6. Factor de carga
  - 1.2.7. Factor de demanda
- 1.3. Impacto Ambiental generado por los vehículos eléctricos
  - 1.3.1. Contaminación acústica
  - 1.3.2. Reducción de gases de efecto invernadero
  - 1.3.3. Impacto medio ambiental de las baterías

## 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

## 3. PRESENTACION DE RESULTADOS

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## CONCLUSIONES

## RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

APENDICE



## **9. METODOLOGÍA**

Esta investigación busca determinar el comportamiento de la evaluación del impacto ambiental debido a la demanda atribuida a los vehículos eléctricos conectados a la red eléctrica nacional de Guatemala.

### **9.1. Características del estudio**

La siguiente investigación es mixta con un diseño no experimental, el cual incluye un método de investigación lógico, ya que, a partir de la recolección de información, relación de variables, obtención y análisis de resultados podemos obtener un panorama de cómo se encuentra nuestro país en el ámbito ambiental y energético.

Es del tipo cuantitativo y cualitativo descriptivo en el cual se pretende describir los posibles impactos al medio ambiente y al Sistema Nacional Interconectado de Guatemala derivados del uso de vehículos eléctricos, así también una propuesta para el manejo y mitigación de los residuos generados por estos vehículos.

Con esta investigación se pretendo obtener un mejor panorama de cómo proteger nuestro país y por ende a nuestra planta de los constantes cambios de las tecnologías en los medios de transporte las cuales demandan energía eléctrica para uso funcionamiento.

Las variables e indicadores en análisis se presentan a continuación.

Tabla I. **Variable**

VARIABLE	DEFINICION TEORICA	DEFINICION OPERATIVA
Demanda eléctrica	Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento (variable en el tiempo).	Se obtendra de la informacion publica de la CNEE y el AMM
Vehículo eléctrico	Un vehículo eléctrico es aquel que utiliza la energía química guardada en una o varias baterías recargables. Usa motores eléctricos que se pueden enchufar a la red para recargar las baterías mientras está aparcado, siempre que la infraestructura eléctrica lo permita.	Se obtendra del registro público de la SAT
Autonomía del Vehículo eléctrico.	La autonomía es la distancia, en kilómetros, que puede recorrer un coche antes de detenerse para repostar de nuevo, en coches de combustión para repostar combustible y en coches eléctricos para recargar la batería.	La información se obtendra de las Datasheet de los vehiculos que se tomen de referencia en el analisis
Potencia eléctrica vehiculo eléctrico.	La potencia se define como la energía o trabajo consumido o producido en un determinado tiempo. La unidad de medida de potencia es el vatio (W). Su definición está relacionada con la tensión aplicada y la intensidad de corriente que circula por un circuito.	La información se obtendra de las Datasheet de los vehiculos que se tomen de referencia en el analisis
Potencia mecánica vehículo eléctrico	El concepto de potencia puede emplearse para nombrar a la cantidad de trabajo que se desarrolla por una cierta unidad de tiempo. Puede calcularse, en este sentido, dividiendo la energía invertida por el periodo temporal en cuestión. En el lenguaje coloquial, potencia es sinónimo de fuerza o poder. Autores: Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2013. Actualizado: 2021.	La información se obtendrá de las Datasheet de los vehículos que se tomen de referencia en el análisis

Continuación tabla I

Eficiencia	Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado; Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos. (RAE, 2022)	La información se obtendrá de las Datasheet de los vehículos que se tomen de referencia en el análisis
Indicadores de los usuarios regulados	Se les conoce como usuarios regulados, los usuarios minoristas de electricidad en Guatemala que pueden consumir energía eléctrica siempre y cuando esta sea provista de una empresa autorizada para la actividad de distribución eléctrica, a excepción de los casos en que no existe una conexión física con la red de distribución nacional.	Se obtendrá de la información del informe estadístico de la CNEE
Indicadores del Mercado eléctrico Nacional y datos generales	La demanda comprende además del consumo de energía en el país, la exportación de energía hacia el MER (Mercado Eléctrico Regional) y hacia México. Asimismo, la oferta de potencia y energía comprende la generación instalada localmente, la cual incluye las nuevas inversiones producto de los procesos de licitación y la importación proveniente de México principalmente	Se obtendrá de la información del informe estadístico de la CNEE.
Calidad de energía eléctrica	la calidad de la energía se entiende cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes.	Se obtendrá de la información del informe estadístico de la CNEE.

Fuente: Elaboración propia.

## **9.2. Fases del estudio**

- Fase 1: Se realizará una exploración para la selección y recolección de información bibliográfica de fuentes verídica y confiables.
- Fase 2: Se realizará la relación entre las variables cuantitativas por medios de métodos estadísticos, así también la relación de variables cualitativas relacionadas con el medio ambiente.
- Fase 3: Se evaluarán, analizarán y unificarán los resultados obtenidos.
- Fase 4: Se discutirán los de resultados obtenidos, los cuales son los impactos ambientales y al sistema nacional interconectado el uso de los vehículos eléctricos.
- Fase 5: Presentación de resultados.

## **9.3. Resultados esperados:**

Se espera obtener una proyección sobre la nueva demanda de energía eléctrica generada por los vehículos eléctricos, la cual tendrá que ser suministrada por el sistema eléctrico, así también la relación y el impacto que tiene al medio ambiente de Guatemala

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En este documento se realizará un análisis de variables tanto cuantitativas y cualitativas, como lo son, la Cantidad de vehículos eléctrico, la Capacidad operativa del Sistema Nacional Interconectado y los impactos al Medio Ambiente de Guatemala.

Se utilizarán métodos estadísticos descriptivos para obtener resultados a partir de las medidas de tendencia central como el promedio, desviación estándar y varianza.

Como primera fase se obtendrá y validará la información bibliográfica. Posteriormente para el desarrollo de la investigación se tomará la cantidad, la potencia y autonomía de los vehículos eléctricos que actualmente son comerciales en Guatemala.

Para la parte energética se utilizará la información, tablas y graficas publicadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y El Administrador del Mercado Mayorista (AMM) sobre el comportamiento de la matriz energética de la generación y demanda de energía eléctrica, para la parte ambiental se tomará información del Ministerio de energía y Minas (MEM).

Con este plan se intenta obtener un mejor panorama sobre los impactos tantos positivos como negativos de la utilización de los vehículos eléctricos en Guatemala y como mitigar estos impactos.



## 11. CRONOGRAMA

El desarrollo y ejecución del proyecto de investigación se describe de forma cronológica por medio del cronograma de trabajo que describa las actividades que permitan alcanzar los objetivos propuestos.

Tabla II. Cronograma

ITEM	ACTIVIDADES	MESES						
		oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
1	Realizar investigación sobre el impacto ambiental que generan los vehículos eléctricos en países donde es mayor la utilización de estos y en el país.	■						
2	Realizar investigación sobre el impacto técnico que generan los vehículos eléctricos a los sistemas de electrificación en países donde es mayor el incremento/consumo de energía eléctrica, así como al sistema nacional interconectado de Guatemala.	■						
3	Recolección de información y data de las fuentes bibliográficas, solicitar información a la SAT sobre los vehículos eléctricos y vehículos particulares registrados hasta la fecha.	■						
4	Inicio y entrega de Anteproyecto.	■						
5	Aplicar los métodos estadísticos a los datos obtenidos y recolectados para posteriormente analizar su comportamiento.		■	■				
6	Recolección y análisis los resultados obtenidos.			■	■			
7	Elaboración y redacción de informe tesis.				■	■	■	
8	Revisión y defensa de tesis.							■

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel (2023).



## 12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

Este documento de investigación se financiará con recursos propios del estudiante de la maestría. A continuación, se presenta una lista de los recursos estimados a utilizar.

Tabla III. Factibilidad del estudio

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Unidad	Sub-total
1	Hojas	1	resma	57	Q/resma	Q 57.00
2	Energía eléctrica	40	KWh	1.28	Q/kWh	Q 51.20
3	Internet	7	Meses	420	Q/Mes	Q 2,940.00
4	Honorarios Asesor	1	Asesoría	2000	Q/Asesoría	Q 2,000.00
5	Depreciación de vehículo	500	Km	0.8	Q/km	Q 400.00
6	Combustible	25	gal	35	Q/gal	Q 875.00
7	Alimentación	100	días	20	Q/día	Q 2,000.00
8	Impresión y encuadernado de documentos	2	Unidad	100	Q/unidad	Q 200.00
9	Revisor externo	1	Unidad	350	Q/unidad	Q 350.00
<b>TOTAL</b>						<b>Q 8,873.20</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel (2023).

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.



## REFERENCIAS

1. Alvarado (2003) Caracterización De La Carga En Sistemas Eléctricos De Distribución
2. Alvarado (2017) Carga, demanda y energía eléctrica: Conceptos fundamentales para la distribución de electricidad Recuperado de: <https://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/>
3. Anaya, F. (2017). Vehículos eléctricos en Guatemala análisis de impacto y propuesta de implementación. Recuperado de: <https://biblioteca.olade.org/opactmpl/Documentosio1d0413.df>
4. Calvo (1980) Comparación de demandas de diseño en sistemas eléctricos de distribución. - Aplicación al área urbana de Quito. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7004/1/T844.pdf>
5. David Martínez Vicente (2011) El impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13565/MemoriaPFC\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13565/MemoriaPFC_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
6. Díez González (2019) principios básicos del vehículo eléctrico. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/222807924.pdf>

7. Frías Pablo, Mateo Carlos y Pérez-Arriaga José, (2011), Evaluación del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica. Recuperado de: <https://docplayer.es/2979118-Evaluaciondel-impacto-de-la-integracion-del-coche-electrico-en-las-redes-dedistribucion-de-energia-electrica.html>
8. GIZ, Universidad Técnica Federico Santa María (2021), Impacto técnico en redes de distribución ante la adopción de la electromovilidad en Chile. Recuperado de: <https://4echile-datastore.s3.eu-central-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2021/09/14133950/Impacto-tecnicoEV-en-redes-de-distribucion-en-Chile.pdf>
9. EEBIS, Informe de Sostenibilidad 2020. Recuperado de: <https://trecca.com.gt/wp-content/uploads/2021/04/Informe-Sostenibilidad-EEBIS-2020.pdf>
10. Martínez Escudero (2017), Propulsión en vehículos eléctrico. Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf?sequence=1>
11. Ramírez (2012) redes de distribución de energía. Recuperado de: <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>

12. Soto F. (2016), Integración del vehículo eléctrico en el sistema eléctrico español. Recuperado de: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2021/09/Impacto-tecnico-EV-en-redes-de-distribucion-en-Chile.pdf>
  
13. Twenergy\_files (2019) La demanda eléctrica. Recuperado de: <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/como-ahorrar-energia-casa/la-demanda-electrica-953/>



## APÉNDICES

Estas páginas contienen información elaborada por el estudiante no debe continuar con la numeración de figuras y tablas.

### Apéndice 1 Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Impacto Ambiental y al Sistema eléctrico de Guatemala	Determinar el impacto ambiental y al sistema de nacional interconectado por el uso de vehículos eléctricos en Guatemala	Vehículo Eléctrico. Historia del Vehículo Eléctrico. Tipos de vehículos eléctricos.	El presente trabajo de investigación no comprobará hipótesis	Cantidad de Vehículos eléctricos en Guatemala. Demanda de energía eléctrica de Guatemala.	Cantidad de Vehículos del parque vehicular de Guatemala. Potencia eléctrica del vehículo eléctrico
<b>PREGUNTA PRINCIPAL</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	Potencia eléctrica de los vehículos eléctricos. Motor eléctrico. Batería y autonomía. Estaciones de carga. Sistema Eléctrico de Potencia. Demanda de energía eléctrica. Curvas de carga. Impacto Ambiental generados por los vehículos eléctricos. Contaminación acústica. Reducción de gases de efecto invernadero. Impacto medio ambiental de las baterías.		Impactos ambientales producidos por los Vehículos eléctricos.	Indicadores del mercado eléctrico nacional. Indicadores de los usuarios regulados. Huella de carbono producido por la generación de energía eléctrica.
<b>PREGUNTAS SECUNDARIAS</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuantificar si el sistema nacional interconectado de Guatemala tiene la capacidad suficiente para cubrir la demanda de energía eléctrica derivado por el incremento del uso de vehículos eléctricos.</li> <li>2. Proponer un plan de gestión para cubrir la nueva demanda de energía eléctrica generada por el incremento del uso de vehículos eléctricos.</li> <li>3. Proponer medidas de mitigación para el manejo y trato los residuos generados por los vehículos eléctricos en Guatemala.</li> </ol>				
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuál es el Impacto ambiental y al sistema nacional interconectado derivados por el uso de vehículos eléctricos en Guatemala?</li> <li>2. ¿Existe un plan de gestión de la demanda de energía eléctrica para el incremento del uso de vehículos eléctricos?</li> <li>3. ¿Qué medidas de manejo y mitigación se pueden implementar para los residuos generados de los vehículos eléctricos?</li> </ol>					

Fuente: elaboración propia.