



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA VEHICULAR DE ACCESO  
PÚBLICO EN GUATEMALA**

**Josué Enrique Juárez Coronado**

Asesorado por la Msc. Inga. Ismelda Isabel López Tohom

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA VEHICULAR DE ACCESO  
PÚBLICO EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSUÉ ENRIQUE JUÁREZ CORONADO**

ASESORADO POR LA MSC. INGA. ISMELDA ISABEL LÓPEZ TOHOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 2022

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
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Sergio Leonel Gómez Bravo
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Jonnathan Sttev Ramírez Castellanos
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 DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA VEHICULAR DE ACCESO  
PÚBLICO EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 06 de noviembre de 2021.

**Josué Enrique Juárez Coronado**



EPPFI-

Guatemala, 12 de enero de 2022

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

**Estimado Ing. Rivera**

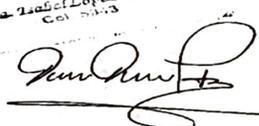
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA VEHICULAR DE ACCESO PÚBLICO EN GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica**, presentado por el estudiante **Josué Enrique Juárez Coronado** carné número **201603026**, 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 Gestion De Mercados Electricos Regulados.

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.

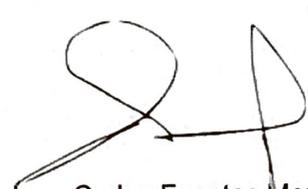
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Inga. Isabel López Tohom  
Cel. 5113

Mtro. Ismelda Isabel López Tohom  
Asesor(a)

Firmado digitalmente por Ismelda López Tohom  
DN: cn=Ismelda López Tohom, o=Escuela de Postgrado, email=ismeldalopez@usac.edu.gt, c=Guatemala, postal=5113  
Mtro. Ismelda López Tohom aprobando este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2022.01.12 13:33:08.00

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





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





EEP-EIME-0082-2022

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 DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA VEHICULAR DE ACCESO PÚBLICO EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Josué Enrique Juárez Coronado**, 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

A handwritten signature in black ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text: "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", "DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA", and "FACULTAD DE INGENIERIA".

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

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.200.2022

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 DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA VEHICULAR DE ACCESO PÚBLICO EN GUATEMALA**, presentado por: **Josué Enrique Juárez Coronado** , después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Por su apoyo, paciencia y amor durante todos estos años.
<b>Mi abuelita</b>	Por ser ejemplo de bondad y sabiduría, y por inculcarme el amor por el conocimiento.
<b>Mis hermanos</b>	Melany, Melissa y Álvaro Juárez, por ser mi inspiración y mi apoyo.
<b>Tío</b>	Ricardo Juárez, por su apoyo y por ser como mi hermano mayor.
<b>Amigos</b>	Mario Diaz, Marco Castellanos, Erick Lool, David Simón, Christian de la Cruz, Erick Mendoza, Kevin Duarte, Marco Chew, Heather Salamanca, Javier Navarro, Jairo García y demás compañeros que hicieron mi estadía en la Universidad una experiencia única de apoyo y compañerismo.
<b>Mi novia</b>	Mitchel Cano, por sus consejos, conocimientos y apoyo durante los últimos años de mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el lugar físico que me permitió desarrollarme profesionalmente, en sus bibliotecas, sus pasillos y sus clases queda parte importante de mi vida.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por los conocimientos adquiridos, permitirme conocer personas excepcionales y profesionales que aportaron de alguna u otra manera a mi formación.
<b>Mi asesor</b>	Msc. Inga. Ismelda Isabel López Tohom, por compartirme su conocimiento y ser mi guía en este trabajo.
<b>Profesor Revisor</b>	Dr. Renato Ponciano por su paciencia y acompañamiento en el desarrollo de este estudio.
<b>Departamento de Matemáticas</b>	Al Ing. Arturo Samayoa por confiar en mis capacidades y permitirme desempeñarme como auxiliar de cátedra.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Descripción del problema .....	9
3.2. Formulación del problema .....	11
3.3. Delimitación del problema .....	12
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	19
6. MARCO TEÓRICO.....	21
6.1. Movilidad eléctrica .....	21
6.1.1. Vehículo eléctrico .....	22
6.1.1.1. Vehículo eléctrico de baterías.....	22
6.1.1.2. Vehículo híbrido enchufable .....	25

6.1.1.3.	Vehículo eléctrico de rango extendido	25
6.1.1.4.	Sistema de recuperación de energía (KERS)	26
6.1.1.5.	Autonomía del vehículo eléctrico	28
6.1.1.6.	Baterías de iones de litio	29
6.1.2.	Infraestructura de carga vehicular	31
6.1.2.1.	Tipos de carga	31
6.1.2.1.1.	Carga lenta	31
6.1.2.1.2.	Carga normal	32
6.1.2.1.3.	Carga semi rápida	33
6.1.2.1.4.	Carga rápida	35
6.1.2.2.	Tipos de conectores	35
6.1.2.2.1.	Modo 3	35
6.1.2.2.2.	Modo 4	36
6.1.2.3.	Tipos de infraestructura de carga	36
6.1.2.3.1.	Instalaciones de carga residencial	36
6.1.2.3.2.	Instalaciones de carga en puestos de trabajo	37
6.1.2.3.3.	Instalaciones de carga de acceso público	37
6.2.	Marco regulatorio y políticas públicas	38
6.2.1.	Planes nacionales	39
6.2.1.1.	Política energética 2019-2050	39
6.2.1.2.	Plan de energía 2017-2032	41
6.2.1.3.	Plan nacional de eficiencia energética 2019-2032	42
6.2.2.	Movilidad eléctrica en Latinoamérica	43

6.2.2.1.	Costa Rica .....	43
6.2.2.2.	Ecuador .....	44
6.2.2.3.	Chile .....	44
6.2.2.4.	Uruguay .....	45
6.2.3.	Movilidad eléctrica en mercados desarrollados .....	45
6.2.3.1.	Estados Unidos.....	46
6.2.3.2.	Europa .....	47
6.2.3.3.	China .....	49
6.3.	Electromovilidad y red eléctrica .....	50
6.3.1.	Red de distribución .....	50
6.3.1.1.	Transformador de distribución .....	51
6.3.1.2.	Servicio de distribución .....	51
6.3.1.3.	Distorsión armónica .....	52
6.3.1.4.	Tarifas horarias.....	53
6.3.1.5.	Infraestructura de medición inteligente .....	53
6.3.2.	Gestión de la recarga vehicular y fenómenos en la red de distribución.....	54
6.3.2.1.	Gestión en tiempo real.....	54
6.3.2.2.	<i>Aggregator</i> .....	56
6.3.2.3.	Medición de armónicos .....	57
7.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	59
8.	METODOLOGÍA.....	65
8.1.	Características del estudio .....	65
8.2.	Unidades de análisis .....	66
8.3.	Variables.....	66
8.4.	Fases de estudio .....	70

8.4.1.	Fase 1: exploración bibliográfica .....	70
8.4.2.	Fase 2: recolección de la información y análisis cualitativo .....	70
8.4.3.	Fase 3: síntesis de la información .....	71
8.4.4.	Fase 4: análisis cuantitativo de la información .....	72
8.4.5.	Fase 5: Interpretación de la información .....	72
8.5.	Resultados esperados.....	73
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	75
9.1.	Técnicas de análisis que se aplicarán.....	75
9.2.	Definición de las técnicas de análisis .....	77
9.2.1.	Distribución de frecuencias .....	77
9.2.2.	Medidas de tendencia central.....	77
9.2.3.	Medidas de variabilidad.....	78
9.2.4.	Distribución muestral.....	78
9.2.5.	Coeficiente de correlación de Pearson.....	79
9.2.6.	Prueba t.....	79
9.2.7.	Gráfica Interés-poder .....	79
9.2.8.	Chi cuadrado .....	80
9.2.9.	Análisis de contenido .....	80
10.	CRONOGRAMA .....	81
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	83
	REFERENCIAS .....	85
	APÉNDICES.....	95

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	20
2.	Vehículo eléctrico de baterías .....	24
3.	Vehículo Híbrido Enchufable .....	26
4.	Vehículo Eléctrico de Rango Extendido .....	27
5.	Batería de Iones de litio.....	30
6.	Modo de carga tipo 2 o normal.....	33
7.	Modo de carga tipo 3 o carga semi rápida .....	34
8.	Cronograma de actividades .....	81

### TABLAS

I.	Clasificación de vehículos según el grado de electrificación.....	23
II.	Tipo de variables .....	67
III.	Descripción de las variables.....	68
IV.	Datos sujetos a análisis.....	76
V.	Tabla de recursos y su valor económico .....	83



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>Hz</b>	Hercio
<b>Km/h</b>	Kilómetro por hora
<b>kWh</b>	Kilovatio-hora
<b>Tm</b>	Toneladas métricas
<b>V</b>	Voltio
<b>W</b>	Watt



## GLOSARIO

<b>AMI</b>	Infraestructura de medición inteligente
<b>Bandas horarias</b>	Horarios de un día en el que se tiene diferentes niveles de demanda de energía eléctrica.
<b>BID</b>	Banco interamericano de desarrollo
<b>BTS</b>	Tarifa baja tensión social
<b>Cambio climático</b>	Cambio en la dinámica climática del planeta producto de la actividad humana.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>CO2 equivalente</b>	Medida en toneladas de la totalidad de gases de efecto invernadero producidos por un proceso.
<b>Estación de recarga</b>	Sitio físico que cuenta con conector para recarga de vehículos eléctricos.
<b>EUFAL</b>	Siglas de European urban freight and logistics.
<b>EV</b>	Vehículo eléctrico puro.

<b>Frente muerto</b>	Parte de un equipo eléctrico accesible a las personas que no cuenta con partes activas expuestas que puedan representar un riesgo de descarga.
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo.
<b>IEC</b>	Comisión Electrotécnica Internacional.
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>Interoperabilidad</b>	Capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar y usar información.
<b>KERS</b>	Sistema de recuperación de energía cinética.
<b>MCI</b>	Motor de combustión interna.
<b>NTSD</b>	Normas técnicas del servicio de distribución.
<b>PHEV</b>	Vehículo híbrido enchufable.
<b>Prosumidor</b>	Figura del mercado eléctrico que produce y consume energía.
<b>SAT</b>	Superintendencia de administración tributaria
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>THD</b>	Distorsión armónica total.

## RESUMEN

Los puntos de recarga pública para EVs forman parte del entorno de la movilidad eléctrica y facilitan la adopción a gran escala de esta tecnología porque brindan certeza y confianza a los potenciales compradores. La construcción de estaciones de recarga debe llevarse a cabo tomando en cuenta las características del mercado nacional para seleccionar las zonas más adecuadas en función de las características de movilidad y las condiciones de la red a la que se conectarán. Por ello es importante determinar la cantidad óptima de estaciones de recarga, la cantidad de cargadores, el tipo de conector, el modo de carga y las necesidades energéticas que estos representan para la red de distribución. Para establecer estos parámetros se debe determinar cómo se está desarrollando la movilidad eléctrica en el país y la región y cuáles son las tendencias que estudios previos han encontrado, es decir, inferir cómo es el mercado a corto, mediano y largo plazo. Esta información será recabada de medios gubernamentales, tesis y documentos de organizaciones relacionadas con el tema. Dado que es un tema que se encuentra en constante desarrollo el estudio contará con una serie de entrevistas cara a cara para diversificar los datos y que permitan validar la información recabada. Con los datos obtenidos se espera determinar una serie de criterios que deberán aplicarse para nuevos puntos de recarga tomando en cuenta las características de la red, la curva horaria del país y los criterios de calidad de energía.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar los requerimientos de la red eléctrica y normativos de construcción de un centro de carga de vehículos eléctricos de acceso público.

### **Específicos**

- Establecer los modos de carga y tipo de conector que se requiere para una red de recarga vehicular pública aplicado al mercado presente y futuro de Guatemala.
- Determinar el tipo de infraestructura de carga adecuado a las necesidades establecidas en función del modo y tipo de carga y calcular los costos asociados a su construcción y mantenimiento.
- Estimar la demanda de energía eléctrica que se puede presentar en un día promedio ante distintos requerimientos de carga vehicular.
- Determinar las variables que indican la zona más adecuada para la instalación de un centro de carga vehicular en función de la demanda de energía y los parámetros de la red.



# 1. INTRODUCCIÓN

La movilidad eléctrica es un fenómeno tecnológico que revoluciona la forma en la que se relacionan la energía y el transporte. Por muchos años el transporte ha representado una cuota importante del consumo energético de los países, y en el caso de países en vías de desarrollo esta dependencia energética está ligada directamente al precio del petróleo. El mercado del petróleo es volátil, tiene variación de precios constantemente. Además, en ocasiones puede depender de las relaciones que existe entre dos o más países, algunos de ellos con inestabilidad política e incluso en guerra. Esta volatilidad se muestra cada año y determina el precio de la gasolina y del diésel. La movilidad eléctrica en cambio representa una oportunidad para los mercados eléctricos cuya matriz energética es diversificada y predominantemente renovable, la razón es que, al no depender de precios externos, o depender en menor medida, se reduce la relación precio del petróleo – costo de transporte. Esto significa que para un país como Guatemala con mayoría de recursos renovables propios y con un mercado eléctrico operado para minimizar costos, innovar en movilidad es una oportunidad para tener mayor independencia energética.

En el contexto de la movilidad eléctrica, existe una relación entre puntos de recarga pública – adopción del EV. Esto se debe a que, a diferencia del vehículo convencional de combustión interna el usuario de EVs no cuenta con la infraestructura necesaria para recargar sus baterías y continuar un trayecto. En el caso de la movilidad dentro de una ciudad puede ser que esto no sea un problema si se cuenta con cargador propio, pero estos cargadores suelen ser de carga lenta para realizarse por la noche. En cambio, un punto de recarga pública apunta a ser lo más parecido a una gasolinera, un lugar donde la recarga pueda

ser en un tiempo mínimo (de 20 a 40 minutos) o mientras se realiza una actividad que no dura más de 2 horas (como en el caso de que se visite un centro comercial, un parque o se realicen compras en supermercados). Es por esto por lo que, el presente estudio tiene como objetivo establecer los requerimientos necesarios para definir la tecnología más adecuada y la zona idónea para construir un punto de recarga. Dado que este tipo de construcción representa un impacto a la red de distribución, se determina cómo es su impacto y en qué medida se puede alterar la calidad de la energía en ese punto.

Para alcanzar los objetivos de la investigación se propone una metodología en dos partes que incluye una revisión bibliográfica de las proyecciones de crecimiento del parque de EVs tanto en Guatemala como en la región para determinar el impacto en la curva de carga y en la matriz energética y para definir requerimientos mínimos de infraestructura. Esta revisión permitirá un primer acercamiento a las tecnologías presentes y futuras del mercado, así como sus requerimientos de recarga (potencia y tiempo) y para definir una relación clara entre movilidad eléctrica y puntos de recarga para Guatemala tomando como base las tendencias regionales y mundiales. La segunda parte de la metodología son una serie de entrevistas con profesionales que tienen a su cargo investigaciones sobre movilidad eléctrica o que están al frente de la adopción de EVs en sus respectivos empleos, esto con el fin de obtener resultados de primera mano sobre los resultados de esta transición. Esto permitirá ampliar los datos obtenidos en la primera parte y por medio de métodos cualitativos y cuantitativos se presentarán y analizarán las variables para dar respuesta a las preguntas de investigación.

El trabajo de investigación está ordenado de la siguiente manera: el capítulo uno aborda los antecedentes y estudios previos de la investigación, en el capítulo dos se fundamenta teóricamente el contenido del trabajo, se divide

en tres secciones: movilidad eléctrica, marco regulatorio y red eléctrica. El capítulo tres comprende el desarrollo de la investigación, presenta la metodología de recolección y análisis de los datos y las variables con las que se trabaja. El capítulo cuatro presenta los resultados del estudio utilizando herramientas estadísticas. En el capítulo cinco se discuten las preguntas de investigación para dar respuesta a los objetivos, sintetizar y presentar la información recabada, por último, se presenta una sección de conclusiones y recomendaciones.



## 2. ANTECEDENTES

Hall y Lutsey (2020) realizaron una recopilación de estudios sobre el incremento de vehículos eléctricos de uso común y el crecimiento de la infraestructura de carga eléctrica asociado a estos. Analizan investigaciones y tendencias en los mercados más grandes de vehículos eléctricos. Los países analizados incluyen Estados Unidos, países de Europa y China. Se identifican relaciones entre la tasa de crecimiento de la red de carga y el crecimiento del parque vehicular. También se analiza el tipo de ciudad y cómo con base en sus requerimientos particulares se debe desarrollar una red de carga pública (pública se refiere a que es de acceso abierto a la población, puede ser de inversión estatal o privada). Estas características incluyen el tipo de residencia más común, la densidad poblacional, la cantidad de kilómetros desplazados normalmente, etc. Por otro lado, indica costos promedio de inversión basado en la información de algunos países que forman parte del estudio. Los costos de adquisición e instalación de cargadores, específicamente de carga rápida tanto en AC como en DC son importantes para el presente estudio.

Anaya (2018) realiza una estimación del crecimiento del parque de vehículos eléctricos para Guatemala con tres posibles escenarios que establece como pesimista, optimista y promedio, esta estimación la realiza para un periodo de 13 años entre 2017 y 2030 en las que establece como principales factores los incentivos gubernamentales como exoneración del cobro de importación y tarifas preferenciales para la recarga vehicular, la variación de los precios de los PHEV y EV y la variación de los precios de las baterías para vehículos eléctricos. Una vez establecidos estos factores los compara con el crecimiento del mercado de vehículos de combustión interna tomado en el mismo periodo. La estimación del

crecimiento del parque de vehículos de combustión interna se realiza considerando la tasa promedio de crecimiento de vehículos importados durante el periodo 2007-2016. La penetración del vehículo eléctrico y del vehículo híbrido enchufable es un factor determinante para la estimación de la red de carga adecuada que se abordará en el estudio.

Iwan et al. (2018) realizan un estudio de las políticas e inversiones que los gobiernos del proyecto EUFAL han realizado con la intención de iniciar una transición hacia un transporte más eficiente y sustentable. Los países que son abordados en el artículo son Austria, Dinamarca, Alemania, Polonia y Turquía. Estas inversiones son millonarias y tienen como fin promover la movilidad eléctrica mediante la creación de incentivos para la compra de vehículos eléctricos y el desarrollo de infraestructuras de carga. Dinamarca desarrolló un proyecto único en su tipo en Europa, a través de la Agencia Danesa de Energía se estableció un programa nacional de fondos para proyectos relacionados con EVs. Estos fondos dieron soporte a proyectos de compañías, organizaciones interesadas, regiones y municipalidades y tiene como condición que las compañías que utilicen fondos para la adquisición de EVs compartan sus experiencias y puedan ser publicadas en un reporte. El mismo proyecto finalmente realiza un análisis del Costo Total de Propiedad comparativo de vehículos eléctricos y vehículos de combustión interna con aplicaciones y características similares. El estudio de las políticas y proyectos innovadores que faciliten la implementación de una red de carga vehicular en la ciudad de Guatemala es determinante para establecer la factibilidad económica de este tipo de propuestas.

Mazariegos (2021) realiza una evaluación de la red de distribución de la ciudad de Guatemala, a partir de lo cual determina que “los usuarios de la tarifa Baja Tensión Simple de vehículos eléctricos podrían ver hasta 168.72 kWh de

aumento en su consumo mensual, y un incremento de la demanda de hasta 7.4 kW” (p. 71). Además, evalúa los escenarios más críticos “bajo premisas y supuestos planteados, mediante los cuales se determinó que la recarga de los automóviles eléctricos durante la banda valle de la curva de demanda del SNI es la que más beneficios trae al sistema”. (Mazariegos, 2021, p. 75) El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo haciendo uso de medidas de tendencia central con lo que se establecieron pautas de comportamiento para la evaluación de la red de distribución y se usaron los valores promedio de consumo de los usuarios BTS, para evaluar en qué medida se ve afectada la curva de carga al implementarse la movilidad eléctrica. En un escenario crítico donde el 100% de los vehículos y motocicletas se conectan a la red de distribución se estima un aumento en la demanda de energía de 3.056 GWh para un día (Mazariegos, 2021). El estudio de las implicaciones que conlleva para el usuario final, las empresas generadoras y distribuidoras es de importancia para el presente estudio para definir los beneficios y los escenarios más adecuados para la implementación de una red de carga pública. Uno de los objetivos de esta red es impactar positivamente en la economía del usuario final. (Mazariegos, 2021).

Hinestroza (2014) formula un marco regulatorio que garantice la integración óptima de EVs con el sector eléctrico en la ciudad de Bogotá definiendo requerimientos de regulaciones técnicas e incentivos que permitan su introducción masiva, el estudio evalúa la percepción de los habitantes de la ciudad por medio de una encuesta cuyos resultados luego son utilizados para establecer un modelo de predicción estadística de la masificación de EVs tomando también como factores el panorama nacional e internacional de la movilidad eléctrica. Se concluye que “es necesario establecer una estandarización de los niveles de carga y tipos de conectores asociados a los EVs entrantes al país. Esto permite garantizar la interoperabilidad entre los vehículos de diferentes marcas y la instalación de infraestructura en cualquier

ciudad” (Hinestroza, 2014, p. 124). Además, indica la importancia de establecer una normativa que defina requerimientos de instalación y operación para los sistemas de recarga. La estandarización de modos de carga y la propuesta de una normativa técnica que sirva de guía para cualquier interesado en establecer puntos de carga públicos es relevante para este estudio.

Vera, Clairand y Álvarez (2017) analizan el mercado eléctrico de Ecuador con el propósito de estudiar los beneficios fiscales que ese país ha establecido para incentivar el uso de vehículos eléctricos y la tarifa que fue creada para los usuarios de estos con el fin de disminuir el impacto económico para el usuario final, el estudio es de tipo exploratorio y tiene como fin recopilar el estado pasado, presente y futuro del mercado tomando en cuenta la inserción del vehículo eléctrico, se establece que el gobierno central dio la bienvenida a compañías de capital extranjero para desarrollar la infraestructura de carga y que además el país no establece políticas claras acerca de la adaptación de la carga rápida en DC debido a una presencia considerable de armónicos. Los temas abordados en este artículo son de consideración para el estudio por el hecho de que se pretende abordar el tipo de tarifa que es más conveniente tanto para el usuario final como para las empresas prestadoras del servicio de generación, distribución y transporte. Adicional a este punto, como ya se estableció con anterioridad, la penetración del vehículo eléctrico depende en buena medida de los beneficios fiscales que los gobiernos son capaces de desarrollar. Por último, un tema sumamente importante para determinar el tipo de carga más conveniente en una zona es la cantidad de armónicos que se inyectan a la red, fenómeno que está normado por las Normas Técnicas del Servicio de Distribución emitidas por la CNEE, y que de ser considerable su efecto implica una inversión extra para su reducción a niveles adecuados.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La movilidad eléctrica es una tendencia mundial que surge como respuesta al cambio climático relacionado con el uso irresponsable de los recursos naturales y el consumo excesivo de los combustibles fósiles. Varios países de la región han iniciado una sólida transición hacia la movilidad eléctrica a través de herramientas como beneficios fiscales, tarifas diferenciadas y bonos de carbón. Sin embargo, se observa que la transición hacia la movilidad eléctrica es un proceso largo que tiene que pasar por varias etapas para su aceptación social. Factores que influyen en este proceso son la necesidad de un marco regulatorio claro y accesible a los interesados, políticas públicas adecuadas e infraestructura de carga pública. Actualmente en el país no existe una red de carga vehicular que permita la implementación de la movilidad eléctrica a gran escala y solamente se tienen proyectos aislados que no sirven de apoyo y promoción para la adaptación de esta nueva tecnología. Debido a esta deficiencia surge la necesidad de realizar una guía para el desarrollo de una red de carga vehicular pública, estableciendo las necesidades presentes y futuras y todos los fenómenos que inciden en su construcción y operación.

#### **3.1. Descripción del problema**

Guatemala no cuenta con una infraestructura de carga vehicular de acceso público, no tiene un marco regulatorio para los interesados en la construcción de nuevos puestos de carga y tampoco cuenta con incentivos o bonos para los interesados en comercializar vehículos eléctricos. La permanencia en el uso del vehículo convencional que utiliza derivados del petróleo como combustible implica contaminación ambiental y baja eficiencia

energética. Realizando una comparación entre el uso del vehículo convencional y el vehículo eléctrico encontramos que al continuar con el uso del vehículo convencional se desaprovecha el potencial energético que se tiene en Guatemala desde fuentes renovables. El incremento de la demanda debido a los vehículos eléctricos puede propiciar más inversión en Generación de Energía Eléctrica en el país, adicional a la que ya se tiene planificada y que es en su mayoría generación renovable (MEM, 2020). Algunos grandes fabricantes de vehículos han establecido que no fabricarán más vehículos de combustión interna e iniciarán una transición progresiva a la fabricación de únicamente vehículos eléctricos, esto significa que en un horizonte de 10 años el país tendrá que estar preparado para este cambio de tecnología que ya es más notable en otros países de la región. Además, países en Europa han propuesto prohibir la venta de vehículos de combustión interna a partir de 2035 (Martín, 2021). Estos factores obligan al desarrollo de infraestructura y normativas que faciliten la transición. Este estudio se fundamenta en que la infraestructura de carga es un factor relevante para la adaptación de esta nueva tecnología ante escenarios de penetración vehicular que estudios previos han determinado para Guatemala.

Según datos de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT, s. f.) el parque actual (hasta agosto 2021) de vehículos de CI en el país es de 4,316,824. Esto implica altos niveles de contaminación y de uso ineficiente de la energía tal como lo indica el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2017b) “los vehículos de gasolina de uso particular requieren un consumo aproximado de 1.92 galones de gasolina por recorrer 100 kilómetros dentro de zonas urbanas, lo que equivale a 68.22 kWh a una velocidad promedio de 60 Km/h” (p. 84). Este consumo de energía está muy por arriba del consumo de un vehículo eléctrico, de hecho, para las tecnologías presentes en el mercado guatemalteco, MEM (2017b) estima que el consumo para la misma velocidad promedio y distancia es

de 1.44 kWh, es decir que se requiere aproximadamente 48% menos energía para realizar el mismo trabajo.

El alto costo del transporte y la dependencia del mercado del petróleo impacta directamente en los precios de elementos de la canasta básica que deben ser distribuidos por vehículos pick up y camiones, es por ello que ante un alza de los combustibles es común que se eleven los precios de los productos, de los fletes e incluso del transporte público.

### **3.2. Formulación del problema**

El problema se aborda planteando una pregunta central y cuatro preguntas auxiliares que sirven de guía para resolución del mismo.

- Pregunta central

¿Cuáles son los requerimientos de red eléctrica y normativos para la construcción de un centro de carga vehicular de acceso público?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son los tipos y modos de carga que se requieren para la carga de vehículos eléctricos?
- ¿Qué tipos de infraestructura de carga se requieren para los tipos y modos de carga establecidos y cuáles son los costos asociados a su construcción y mantenimiento?

- ¿Qué escenarios de demanda de energía eléctrica se pueden presentar ante la probabilidad de distintos requerimientos de carga a lo largo del día?
- ¿Cuáles son las variables que indican la zona más adecuada para la instalación de un centro de carga vehicular en función de la demanda de energía eléctrica y los parámetros de la red?

### **3.3. Delimitación del problema**

El problema abordado analiza la situación de la infraestructura de carga para propiciar la movilidad eléctrica en la ciudad de Guatemala desde el 2018, año en el que se realizan los primeros estudios al respecto y se elabora una primera estimación de penetración de movilidad eléctrica para el país y tiene como año límite el 2022 por estar dentro del tiempo de recolección y análisis de datos. El análisis se hace en tres vertientes: la construcción de la infraestructura de carga que incluye la selección del tipo de carga y tipo de tecnología, análisis probabilístico y estadístico de los requerimientos energéticos que el centro de carga puede tener en un día de uso normal y las características que una red debe cumplir para que sea seguro y eficiente la adición de la demanda de un centro de carga vehicular. El estudio se centra en la ciudad de Guatemala y puntos estratégicos en el interior del país que beneficien la transición hacia la movilidad eléctrica. Los puntos estratégicos son aquellos que se encuentran en distancias intermedias entre ciudades importantes ya sea por sus características comerciales o por el turismo, ejemplo de estos puntos son Escuintla, dado que se encuentra entre la capital y el puerto Quetzal y puerto de San José. Escuintla también se encuentra en un punto intermedio entre una zona altamente turística y la ciudad de Guatemala. Otro ejemplo es El Rancho que se ubica en un punto donde se unen las carreteras que vienen desde Cobán e Izabal y la carretera que

va hacía la ciudad capital. Existen otros departamentos entre los cuales también existe un tránsito fluido como entre Mazatenango y Retalhuleu o entre Huehuetenango y Quetzaltenango. Respecto a departamentos altamente turísticos como Sololá o Sacatepéquez se pueden desarrollar corredores turísticos tal como ya han implementado países de la región.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se encuentra dentro de la línea de investigación Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica, en el subtema Análisis e impactos de la innovación tecnológica. Esto se debe a que analiza la introducción de una tecnología que es novedosa en Guatemala: la infraestructura de carga pública. Esta tecnología, en función de su penetración, impacta los sistemas de generación y distribución eléctrica dado que el alcance de una red de carga altera la demanda eléctrica del país e impacta en la matriz energética. Debido a que su instalación se realiza directamente a una red de distribución eléctrica, puede impactar sus parámetros de pérdidas, calidad de la energía, fenómenos electromagnéticos, etc.

Según Iwan et al. (2018) “una barrera para la adopción de vehículos eléctricos en países en desarrollo es la infraestructura disponible o que aún está en desarrollo” (p. 115), esta es una razón por la que es importante la inversión en centros de carga y el desarrollo de metodologías de instalación que faciliten su construcción en el país. Otro factor para tomar en cuenta es que “dado que solo existe un mercado de petróleo complejo y mundial, la seguridad energética depende de la estabilidad de este mercado. Por ello es necesario innovar tecnológica y políticamente en materia de movilidad” (MEM, 2019, p. 49). El país cuenta con un potencial energético renovable alto, esta característica de la matriz energética del país puede ser la herramienta que propicie la forma como se relaciona el transporte y la energía, migrando a un tipo de movilidad más eficiente y amigable con el ambiente. El mercado eléctrico es un mercado de oportunidad donde existe libre competencia y se compra la energía más barata, la movilidad eléctrica disminuiría la dependencia del petróleo y abarataría los costes de

transporte, sin embargo, para que este desarrollo sea una realidad se debe crear un entorno que de soporte al usuario de automóviles eléctricos.

Otro factor importante en la transición hacia la movilidad eléctrica es determinar cómo interactúa un puesto de carga con la red eléctrica a la que se conecta, la forma en la que cambia sus parámetros, el incremento o decremento de pérdidas y su interacción con el resto de las cargas conectadas, actualmente no se cuenta con este tipo de estudios aplicado al mercado eléctrico guatemalteco, si bien con anterioridad se ha analizado el impacto general de la movilidad eléctrica en la red, no se ha abordado desde el punto particular de los puestos de carga vehicular de acceso público.

Es importante indicar que el estudio se encuentra en un momento oportuno y determinante para la movilidad eléctrica en el país. Guatemala no cuenta con las herramientas y los estudios necesarios para validar y fundamentar esta transición, es por ello por lo que el estudio es pertinente en tanto aporta utilidad teórica y metodológica respecto a la relevancia de las estaciones de recarga vehicular en el entorno de la movilidad eléctrica. La utilidad teórica será para los interesados en la selección de las herramientas necesarias para un punto de recarga mientras que la utilidad metodológica será producto de los lineamientos que se establecerán como necesarios para una adecuada construcción y operación. En el país ya se construyen puntos de recarga dada su importancia inmediata, pero es necesario que la construcción de nuevos puntos se desarrolle con fundamento teórico y metodológico.

Se espera entregar un estudio que, mediante análisis estadísticos y ante diferentes escenarios exponga una guía para la instalación de puntos de carga vehicular en Guatemala y los efectos que estos tendrán a nivel energético en la red, en concreto, una lista de requerimientos que el interesado debe cumplir para

conectar su estación de recarga satisfactoriamente a la red eléctrica, además, que indique las características que debe tener la zona en la que se planea la instalación y que permita realizar cálculos de los costos de construcción y mantenimiento del puesto de carga.

Se espera que el presente estudio facilite la transición hacia la movilidad eléctrica en el país, entregando herramientas y lineamientos que servirán para empresas, en el caso en que se requiera el cambio de flotillas de vehículos, dependencias del estado que quieran instalar puestos de carga públicos, universidades que quieran implementar puestos de carga para sus estudiantes, docentes y personal administrativo, centros comerciales que vean una oportunidad de negocio en los centros de carga y gobiernos municipales que pretendan innovar en su municipio o ciudad. Esto permitirá que el país continúe en el proceso de cumplir con los objetivos que se ha propuesto a nivel internacional y en consonancia con la reducción de gases de efecto invernadero que se persigue a nivel global.



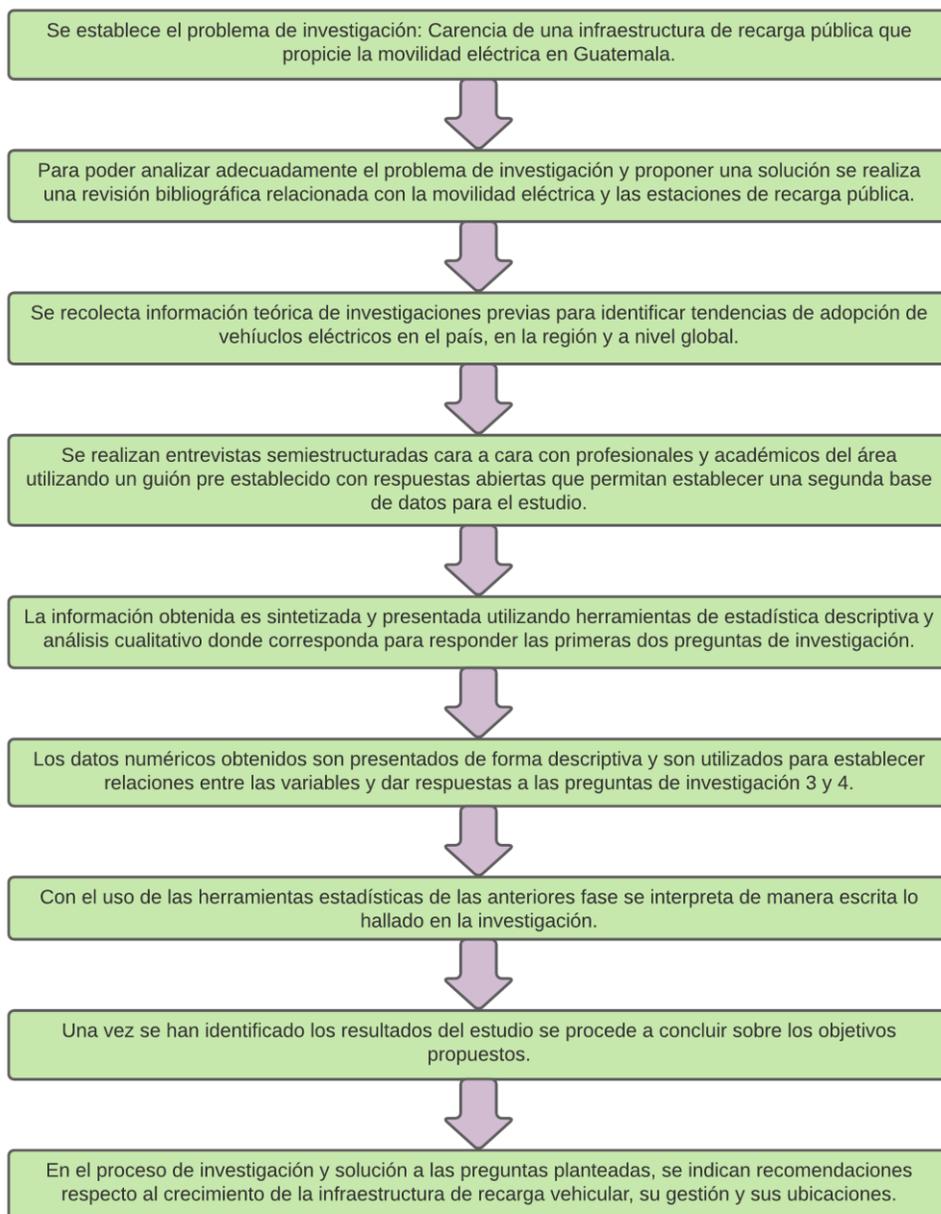
## **5. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Estudios previos han mostrado una relación directa entre adopción del vehículo eléctrico y una red de puestos de recarga robusta que cuente con ubicaciones estratégicas que conecten ciudades principales, lugares turísticos, zonas industriales, zonas comerciales, zonas residenciales, etc. Este tipo de infraestructura es una realidad en varios países y ciudades donde la movilidad eléctrica tiene un crecimiento prometedor, sin embargo, Guatemala no cuenta con este tipo de infraestructura a gran escala, y los puntos de recarga se concentran en la ciudad capital y dos ciudades más. Se puede decir que no existe unicidad en el planeamiento del crecimiento de una red de recarga pública. Por lo anterior, el presente estudio plantea una solución con base en establecer las tecnologías presentes y futuras del mercado de vehículos eléctricos en el país para plantear lineamientos para estaciones de recarga que cualquier interesado pueda seguir. Estos lineamientos definen una relación entre tipo de vehículo y modo de recarga, fabricante del vehículo y tipo de conector. También determina cantidad óptima de cargadores relacionado la cantidad de vehículos en circulación o las características de movilidad de la zona.

Dado que la recarga de vehículos eléctricos puede demandar desde 2.3 kW hasta 350 kW, una infraestructura de recarga que no tome en cuenta el impacto en la red eléctrica puede representar un riesgo para la curva de carga de la zona o del país, puede provocar un incremento de pérdidas y dependiendo del tipo de tecnología utilizada puede alterar la calidad de la energía eléctrica, por ello la selección de la zona y los elementos de protección y control es de suma importancia, además unos de los objetivos de la movilidad eléctrica es hacer eficiente el uso de la energía. Esta necesidad se pretende cubrir definiendo

parámetros mínimos e idóneos para la ubicación de los puntos de recarga y una guía para la selección de elementos y equipos eléctricos que permitan conectarse adecuadamente a la red.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

## **6. MARCO TEÓRICO**

Para fundamentar el presente estudio se abordarán los conceptos más relevantes que tienen incidencia en los centros de carga de acceso público y se dividirá en tres etapas: primero, la movilidad eléctrica como fenómeno de innovación tecnológica, segundo, la construcción de políticas, regulaciones y los mecanismos que facilitan la transición hacia la movilidad eléctrica y tercero, los conceptos que relacionan los centros de carga vehicular con la red eléctrica y sus parámetros.

### **6.1. Movilidad eléctrica**

La movilidad eléctrica será abordada en este estudio como la tecnología utilizada para el transporte de personas, bienes y servicios utilizando motores eléctricos y dispositivos de almacenamiento de energía, incluyendo motocicletas, vehículos sedán, pickups, camionetas, camionetillas, furgonetas, buses y camiones. Este transporte es entre y dentro de ciudades urbanas y poblaciones rurales. Dickerman y Harrison citados por Morro-Mello, Padilha-Feltrin y Melo (2017) indican que la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero es una alternativa para reducir daños al medio ambiente; para contener esta emisión de gases se han implementado avances tecnológicos como el uso de vehículos eléctricos (EVs) en zonas urbanas, los cuales requieren menos mantenimiento y no producen polución. La movilidad eléctrica ha recibido más atención recientemente y se ha experimentado un drástico incremento en sus ventas. Según la International Energy Agency (citado por Fluchs, 2018) “en 2018 el stock global de vehículos eléctricos superó los 5.1 millones, mientras que únicamente cerca del 40 %, es decir 2 millones de vehículos habían sido vendidos

en los años previos” (p. 1). Asimismo, un caso cercano a Guatemala se observa en Costa Rica, donde “la inscripción de carros eléctricos creció un 77 % y 36 % en el segmento de motos y equipo especial” (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021, p. 16).

### **6.1.1. Vehículo eléctrico**

“Los vehículos eléctricos son reconocidos como la tecnología más factible para la descarbonización del transporte de pasajeros, particularmente cuando su recarga proviene de sistemas de potencia con baja emisión de CO<sub>2</sub>” (de Zarazua, Noel, Kester y Sovacool, 2019, p. 1).

Las ventajas que presentan este tipo de vehículos entre otras son una mayor eficiencia, menores requerimientos de mantenimiento, prácticamente nula emisión de ruido y bajas e incluso cero emisiones de gases contaminantes dependiendo del tipo de vehículo eléctrico. Ros y Barrera (2017) realizan una clasificación de los diferentes tipos de vehículos eléctricos en función del grado de electrificación, estos tipos de vehículos se resumen en la tabla I. Sin embargo, en este trabajo se definirán únicamente los vehículos eléctricos que requieren una conexión eléctrica de recarga y se dejan en segundo plano los vehículos cuyo motor eléctrico funcionan como soporte del motor de combustión interna.

#### **6.1.1.1. Vehículo eléctrico de baterías**

Según Torres (2015) un vehículo eléctrico es aquel que se alimenta 100 % por un sistema de baterías recargables y utiliza la energía química almacenada en ellas para alimentar uno o varios motores eléctricos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica y producen un movimiento.

Tabla I. **Clasificación de vehículos según el grado de electrificación**

<b>Clasificación ISO</b>	<b>Características generales</b>
$\mu$ HEV ( <i>Micro Hybrid Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorpora placa solar fotovoltaica, sistema Stop &amp; Star, KERS de alternador.</li> <li>- No superan los 5 kW de potencia.</li> <li>- No incorporan ningún sistema de tracción eléctrica.</li> </ul>
mHEV ( <i>Mild Hybrid Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorpora un sistema de tracción eléctrico que no supera los 15 kW de potencia.</li> <li>- Incorpora KERS</li> <li>- 24-48V</li> <li>- El motor de arranque convencional es sustituido por un motor eléctrico con mayor potencia.</li> </ul>
HEV ( <i>Hybrid Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorpora KERS</li> <li>- Incorpora un sistema de tracción eléctrica que supera los 15 kW de potencia.</li> </ul>
PHEV ( <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un vehículo híbrido que además dispone de un Sistema de carga exterior que permite conectarlo a la red eléctrica.</li> </ul>
REEV ( <i>Range Extended Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorpora un sistema de tracción eléctrica que supera los 15 kW de potencia.</li> <li>- Incorpora KERS.</li> <li>- Son enchufables.</li> </ul>
FCEV ( <i>Fuel Cell Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorpora un sistema de tracción eléctrica que supera los 15 kW de potencia.</li> <li>- Incorpora KERS.</li> <li>- Incorpora un depósito y una instalación de hidrógeno a alta presión.</li> </ul>
EV ( <i>Electric Vehicle</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorpora un sistema de tracción eléctrica que supone toda la tracción del vehículo.</li> <li>- Incorpora KERS.</li> <li>- Son enchufables</li> </ul>

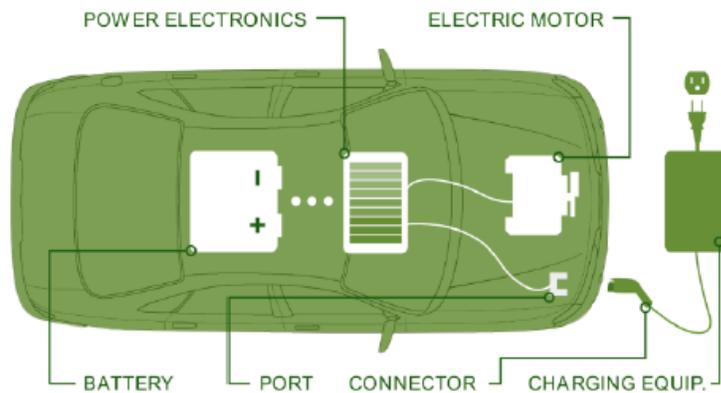
Fuente: Adaptado de Ros, A. y Barrera, O (2017). *Vehículos Eléctricos e Híbridos*. Ediciones Paraninfo. Pág. 29

Las baterías del vehículo se pueden cargar de dos maneras de acuerdo con la tecnología de la cual dispone cada vehículo, estas son: conectadas a una red eléctrica o utilizando freno regenerativo. La autonomía de este tipo de vehículos eléctricos ha ido en aumento en los últimos años, uno de los vehículos

con mayor capacidad en este rubro es el Tesla Model S que cuenta con 652 km de autonomía. Aunque existen otros vehículos con autonomías similares estos son vehículos de precio elevados.

Según Mazariegos (2021) los EVs “pueden llegar a tener una autonomía de alrededor de 300 kilómetros cuando están totalmente cargados, aunque esta autonomía depende de algunos factores como tipo de ruta, tráfico y habilidades del conductor. Este tipo de vehículo es el de mayor requerimiento para la red eléctrica” (p. 9). Singh et al (2021) segmentan los vehículos eléctricos en función de las especificaciones de sus baterías cuyas capacidades van desde 1.2 kWh en el caso de vehículos de dos ruedas como motocicletas hasta 80 kWh para vehículos eléctricos de segunda generación.

Figura 2. **Vehículo eléctrico de baterías**



Fuente: Vermont Energy Investment Corporation (2014). *Electric Vehicle Charging Guidebook*. Pág. 7

### **6.1.1.2. Vehículo híbrido enchufable**

Hinestroza (2014) indica que un vehículo híbrido enchufable utiliza como fuente de energía un conjunto de baterías que alimentan un motor eléctrico y un combustible fósil que alimenta un motor de combustión interna. Estos son capaces de operar únicamente con energía eléctrica cierta distancia y luego son auxiliados por el motor de CI. “La batería de los PHEV-10 como el Toyota Prius Plgu-in tienen una autonomía aproximada de 10 millas, mientras que un PHEV-40 como el Chevrolet Volt tiene una autonomía aproximada de 40 millas.” (Vermont Electric Investment Corporation [VEIC], 2014, p. 7).

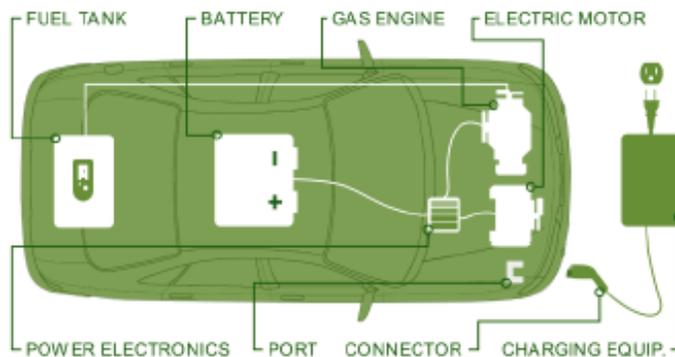
Los PHEVs tienen dos posibles configuraciones de diseño en función de la forma en la que controlan el movimiento de las llantas del vehículo utilizando los dos motores que posee. “La configuración en paralelo conecta el MCI y el motor eléctrico a las llantas a través de un acople mecánico y en el que ambos pueden controlar y manejar las llantas directamente” (Hinestroza, 2014, p. 19). El control que se tiene en un trayecto depende de si las baterías están cargadas o descargadas o de la configuración propia del vehículo según la marca y la tecnología desarrollada. “La configuración en serie utiliza solo el motor eléctrico para manejar las llantas y el MCI se utiliza para alimentar el motor eléctrico”. (Hinestroza, 2014, p. 19).

### **6.1.1.3. Vehículo eléctrico de rango extendido**

Un vehículo eléctrico de rango extendido es un vehículo 100 % eléctrico que está equipado con un grupo electrógeno de respaldo (Unidad auxiliar de potencia APU) que puede ser un motor de CI a gasolina. Es decir que el motor de CI no suministra propulsión directa al vehículo, únicamente es utilizado para cargar la batería. El grupo *Range Extender* o REX entra en funcionamiento

automáticamente al descender el nivel de carga de las baterías por debajo de un umbral establecido o a voluntad del conductor (Silva, 2016).

Figura 3. **Vehículo híbrido enchufable**



Fuente: Vermont Energy Investment Corporation (2014). *Electric Vehicle Charging Guidebook*. Pág. 7

#### 6.1.1.4. **Sistema de recuperación de energía (KERS)**

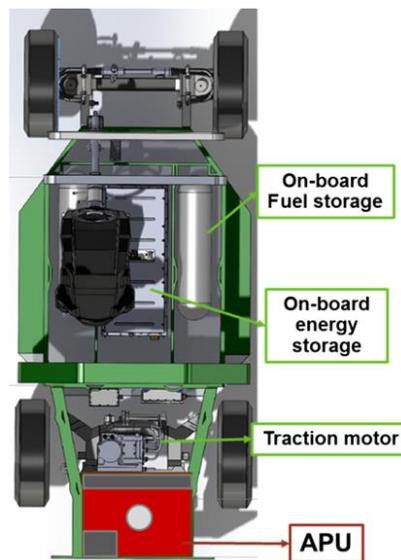
Cuando se requiere reducir la velocidad de un vehículo lo que se hace es activar los frenos o bien utilizar el motor como freno, sin embargo, con este tipo de frenado toda la energía cinética que tiene el vehículo se transforma en calor que produce desgaste en los elementos que componen el sistema de frenado o en los elementos del motor. Los sistemas de recuperación de energía llamados KERS (*Kinetic Energy Recovery System*) transforman la energía de frenado del vehículo en otro tipo de energía que después puede ser utilizada (Ros y Barrera, 2017).

Los vehículos eléctricos utilizan el motor-generator incorporado en la transmisión para convertir la energía mecánica en energía eléctrica y viceversa.

Una vez la energía fue aprovechada es almacenada en el sistema de baterías y liberada cuando es requerida (Radhika y Mallika, 2013). Los componentes para KERS con almacenamiento en baterías están formados por la unidad Motor-Generador, el inversor de potencia electrónico y el sistema de almacenamiento de las 4 llantas.

Es importante mencionar que el freno regenerativo actúa en conjunto con el freno convencional para poder ser eficaz en la reducción de la velocidad.

Figura 4. **Vehículo eléctrico de rango extendido**



Fuente: Chambon et al (2017). *Development of a range extended electric vehicle powertrain for an integrated energy systems research printed utility vehicle*. Pág. 103

#### **6.1.1.5. Autonomía del vehículo eléctrico**

La autonomía del vehículo eléctrico es la cantidad de kilómetros que puede desplazarse con una carga total de la batería, La autonomía depende de la capacidad de la batería y de la energía que se añade al utilizar frenos regenerativos. La autonomía de los vehículos eléctricos ha ido en aumento, en especial con el uso de baterías de ion de litio.

La asociación de automóviles de Noruega -NAF- (citado por Amadoz, 2021) realizó un ensayo para poner a prueba la autonomía de vehículos de diferentes segmentos y precios. Los resultados obtenidos dejan un margen de autonomía de entre 165 y 654.9 km. La prueba incluye fabricantes europeos, estadounidenses y asiáticos.

En Guatemala se realizó una prueba similar con el vehículo Nissan Maxus EV30 con una batería de 35kWh con autonomía de entre 158 y 210 kilómetros, la prueba se realizó en un ambiente urbano y en carretera, también se puso a prueba el freno regenerativo y su capacidad para sumar kilómetros eléctricos con esta tecnología. En la prueba se recorrieron 114 kilómetros y consumiendo un 46 % de la carga (speed-addiction, 2021,11m09s).

Otro caso similar aplicado en Guatemala es el del vehículo comercial JAC N55 que tiene 2 baterías de ion de litio y que tiene una autonomía de hasta 220 kilómetros, el vehículo en cuestión fue adquirido por una empresa de bebidas carbonatadas y se encuentra actualmente en circulación (Asociación de Movilidad Eléctrica de Guatemala [AMEGUA], 2021).

#### **6.1.1.6. Baterías de iones de litio**

Una parte fundamental en la construcción de los vehículos eléctricos es el juego de baterías y toda la tecnología que se desarrolla en torno a ellas. De ellas depende la autonomía del vehículo y, por tanto, de ellas depende la posibilidad de competir con el vehículo de combustión interna. Como ya se dijo antes, las baterías más usuales para su uso en EVs son las baterías de Iones de Litio (Miranda e Iglesias, 2015).

En primera instancia es de mencionar que en cuanto a densidad energética las baterías de iones de litio son bastante inferiores a la gasolina 0.125 kWh/kg de la batería frente a 13 kWh/kg (8,9 kWh/L) de la gasolina (Miranda e Iglesias, 2015). Además, la “recarga” de combustible dura unos minutos, frente a la recarga de una batería que puede durar desde 30 minutos hasta varias horas, y si eso no fuera suficiente, existe una red de gasolineras mundial frente a una infraestructura de recarga en proceso de desarrollo.

Debido a que el Litio es un metal muy ligero, es posible construir baterías de gran capacidad con poco peso (Peña, 2011) y presentan la densidad de energía más alta comparada con otras baterías utilizadas en automóviles de combustión interna como las Plomo-Ácido, además de no se ven afectadas por ciclos de carga y descarga incompletas (efecto memoria) que sí padecen otras baterías del mercado ni necesitan mantenimiento.

Sin embargo, éstas también tienen sus desventajas, como su alto precio, la necesidad de un circuito de protección que evite que el voltaje de las celdas supere límites que dañen la batería y la necesidad de mantenerse a una temperatura baja (Peña, 2011). Frías y De Miguel (2019) indican que “una batería de EV consta de 4 subsistemas: Sistema de refrigeración, celdas, estructura y

controlador (*Battery Management System BMS*)” (p. 47). El sistema de refrigeración de la batería incluye de un radiador y un refrigerante y la batería “consta de distintos módulos y cada módulo se compone de varias celdas” (Frías y De Miguel, 2019, p. 47). El controlador incluye placas de control y electrónica de potencia.

Las baterías de litio tienen algunas variantes como las baterías de polímetro de Litio, baterías de Iones de litio con cátodo de óxido de litio de cobalto, con cátodo de fosfato de hierro litio, etc. (Peña, 2011) que tienen ventajas y desventajas entre ellas que no serán abordadas en este capítulo.

Figura 5. **Batería de iones de litio**



Fuente: Miranda e Iglesias (2015) *Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico*. Pág. 67

## **6.1.2. Infraestructura de carga vehicular**

El crecimiento de la infraestructura de carga vehicular de acceso público en conjunto con la construcción de puestos de carga privados y compartidos por pequeñas comunidades como edificio de apartamentos y edificio de oficinas es fundamental para que el vehículo eléctrico pueda ser una tecnología competitiva con el motor de combustión interna. En el mercado actual existen diversos modos de carga en función de la capacidad de las baterías y a su vez existen cargadores que se adaptan a estos modos. Entre los aspectos que se deben tomar en cuenta para la construcción de un puesto de carga se debe considerar el espacio físico, la capacidad de la línea de distribución más cercana y el nivel de carga que se va a manejar (Morro-Mello et al., 2017).

### **6.1.2.1. Tipos de carga**

Los tipos de recarga de vehículo son una división en función de la capacidad de la batería del vehículo, el conector y el nivel de voltaje al que se está conectando al cargador. Dependiendo del vehículo, éste tendrá capacidad de utilizar uno o más tipos de recarga.

#### **6.1.2.1.1. Carga lenta**

Es el tipo de recarga más simple, no requiere de un diseño específico ni de infraestructura adicional a la que se encuentra en casa, la norma IEC-61851-1 clasifica este tipo de recarga como carga modo 1 (Goenaga, 2020), no cuenta con protecciones específicas ni protocolos de comunicación. Es un tipo de carga para conexiones residenciales o comerciales en los que el tiempo disponible para recarga es amplio, pues, según la batería que se tenga los tiempos de carga van desde 5 hasta 10 horas (Mazariegos, 2021), con una carga que requiere entre 15

y 20 amperios de la red, y una potencia demandada que no supera los 2.3 kW. Es idealmente utilizada para motos, triciclos o en general cualquier vehículo de poca potencia (IBIL. REPSOL, 2014).

Las ventajas que presenta este tipo de carga es un bajo costo de instalación y prácticamente nula incidencia en el pico de carga del usuario, sin embargo, su tiempo prolongado de recarga representa una desventaja cuando se tienen vehículos de mayor demanda.

#### **6.1.2.1.2. Carga normal**

Es un tipo de recarga similar al de carga lenta porque se conecta directamente a un tomacorriente que se tenga en casa, con una diferencia, VEIC (2014) indica que los EVs están equipados con equipos portátiles de carga lenta para ser conectados a un tomacorriente de uso normal, este equipo es como el que se muestra en la figura 6, y añade protecciones que no se tienen al conectarse directamente al tomacorriente, también añade comunicación que permite limitar la corriente que se demanda en función de los requerimientos de la red, esto debido a que el tomacorriente puede formar parte de un circuito con más cargas. La potencia y corriente demandada es bastante similar al de carga lenta, del mismo modo comparten ventajas y desventajas. La norma IEC-61851-1 identifica este tipo de carga como carga modo 2 (Goenaga, 2020).

VEIC (2014) indica que “para un vehículo con autonomía de entre 60 y 80 millas, se requiere de 10 a 14 horas de recarga utilizando carga lenta” (p. 9), en este caso para un usuario de tarifa de baja tensión simple conectado a la red de EEGSA implicaría un costo de Q17.25 por una recarga completa utilizando el pliego tarifario de julio 2021 (CNEE, s. f.).

Hall y Lutsey (2020) indican que el precio del equipo para recarga lenta, en caso de que no sea proporcionado con el vehículo es de entre €200 y €700 y el costo de instalación desde €0, cuando el tomacorriente ya está disponible y hasta €500 en función de la localización de la salida de fuerza.

Figura 6. **Modo de carga tipo 2 o normal**



Fuente: Hall y Lutsey (2020) *Electric Vehicle Charging guide for cities*. Pág. 3

### **6.1.2.1.3. Carga semi rápida**

Es un tipo de recarga que se realiza con corriente alterna, pero con mayores demandas de potencia de la red, puede realizarse con corriente monofásica de 208/240 voltios o con una red trifásica, la potencia de la recarga se encuentra entre 7 y 43 kW (Hall y Lutsey, 2020). Es un tipo de recarga utilizado en lugares donde los vehículos permanecen estacionados por unas horas como en un gimnasio, un centro comercial o un parque. Este tipo de recarga dispone de protecciones eléctricas y un tipo de conector específico para su conexión, IBIL. REPSOL (2014) indica que el conector tiene como funciones “la verificación de una correcta conexión, comprobación continua de la toma de tierra, activación/desactivación de la carga y selección de la potencia de la carga en

función de las necesidades del vehículo” (p. 124). Este tipo de conexión reduce los tiempos de recarga, y para su conexión actualmente se utilizan 2 tipos de conectores el tipo 1 y el tipo 2. El tipo de conector que se utilizará depende del vehículo y del país donde fue fabricado, aunque existe una tendencia a la estandarización, es posible encontrar ambos tipos de conectores. El caso de Tesla es particular pues este fabricante produce sus propios conectores.

VEIC (2014) indica algunas desventajas que tiene este tipo de carga como un costo elevado de instalación y un mayor impacto en la curva de demanda de la red a la que está conectada la instalación. La norma IEC-61851-1 identifica este tipo de carga como modo 3 (Goenaga, 2020) y será de importancia para el presente estudio por ser un tipo de carga utilizado en vías públicas.

Figura 7. **Modo de carga tipo 3 o carga semi rápida**



Fuente: Hall y Lutsey (2020) *Electric Vehicle Charging guide for cities*. Pág. 3

#### **6.1.2.1.4. Carga rápida**

El modo de carga rápida es el más parecido a la recarga de combustible que se tiene para vehículos de combustión interna, al igual que una gasolinera, este tipo de carga está presente en electrolineras y tienen tiempos de carga menores a los anteriores, tiene como fin una recarga del 70 % en como máximo 30 minutos, por lo que sus requerimientos energéticos son más amplios. La recarga se realiza en corriente directa y con cuatro posibles conectores, el CHAdeMO, el CCS1, el CCS2 o Combo 2, y el conector para Tesla. La potencia que demanda este tipo de carga es entre 50 y 350 kW. La norma IEC-61851-1 identifica este modo de carga como modo 4 (Goenaga, 2020).

Aunque presenta tiempos cortos de recarga, la desventaja de este tipo de carga es el alto costo de la infraestructura de carga y debido a sus niveles de corriente y tensión posee mayores requerimientos de seguridad. Además, no es un tipo de recarga que sea aplicado a todos los vehículos disponibles, pues depende de la capacidad de sus baterías.

#### **6.1.2.2. Tipos de conectores**

Los modos de carga que requieren conectores son los tipos 3 y 4, los del modo 3 son para conexión en AC y los del modo 4 son para conexión en DC, el modo de carga tipo 2 requiere una conexión normal y el tipo de cargador ya viene incluido en el vehículo y por ello no se describe a continuación.

##### **6.1.2.2.1. Modo 3**

Para este tipo de recarga se utiliza el conector J1772 (tipo 1) que es un conector para corriente monofásica de 120 o 208/240V, con corrientes de hasta

32 amperios y el tipo 2 (Mennekes) que es para corriente trifásica de 208/240 o 480V, con corrientes de hasta 32 amperios (Goenaga, 2020), el primero es de uso normal en EE. UU. y Japón, mientras que el segundo es de uso más común en Europa.

#### **6.1.2.2.2. Modo 4**

Para este tipo de recarga se dispone de los conectores CHAdeMO que utilizan una tensión nominal de 500 Vdc y una corriente de hasta 125 amperios, los conectores tipo CCS combo 1 y CCS combo 2, que son conectores tipo 1 y tipo 2 respectivamente a los que se añaden 2 pines extras que permiten realizar una carga rápida en DC, manejan tensiones de hasta 920 Vdc y corrientes de entre 250 y 500 amperios (Goenaga, 2020).

#### **6.1.2.3. Tipos de infraestructura de carga**

Una vez se tiene en cuenta los tipos de recarga que existen para vehículos eléctricos es necesario determinar cuáles son las zonas más adecuadas para su instalación. Esta elección dependerá del tipo de usuario, del tipo de movilidad presente en una zona y de los horarios de movilidad que se manejan, es por ello por lo que algunos autores hacen una diferenciación entre los posibles sitios para recarga de vehículos.

##### **6.1.2.3.1. Instalaciones de carga residencial**

Este tipo de recarga es el más económico para el dueño de un vehículo eléctrico ya que utiliza modos de carga tipo 2 con conectores tipo 1 o tipo 2 según el nivel de voltaje que se tenga (120V o 208/240V), no representa un consumo

elevado de corriente por lo que no suele incidir en gran medida en la curva de carga del usuario. Es un tipo de carga muy favorable cuando se tiene tarifa diferenciada en función de la hora, es por ello que es un tipo de carga que normalmente se utiliza por las noches cuando el dueño del vehículo descansa en casa (VEIC, 2014; Hall y Lutsey, 2020).

Los requerimientos básicos para este tipo de instalación es tener un circuito dedicado con protección diferencial GFCI para protección de las personas (VEIC, 2014; Goenga, 2020).

#### **6.1.2.3.2. Instalaciones de carga en puestos de trabajo**

El segundo sitio donde más tiempo pasa estacionado un vehículo es el lugar de trabajo, es por esto que este tipo de instalación es importante, algunas empresas y universidades prestan este servicio que puede ser con modos de carga tipo 2 o 3 (VEIC, 2014; Hall y Lutsey, 2020).

#### **6.1.2.3.3. Instalaciones de carga de acceso público**

Hall y Lutsey (2020) indican que es este tipo de carga es la cara más visible de cara a los usuarios interesados en la adquisición de un EV y una parte fundamental en la transición hacia un mercado de movilidad eléctrico popular. Es importante mencionar que este tipo de infraestructura es más fácil de apoyar desde un punto de vista gubernamental, pues, como se ha visto en algunos mercados europeos, son beneficiados con políticas que facilitan su instalación y reducen el riesgo que implica una inversión de este tipo. Este tipo de instalación

utiliza cargas modo 3 y 4 donde los tiempos de recarga son mucho más rápidos y se instalan en lugares donde las personas no pasan mucho tiempo, debido a esto son instalaciones más caras y complejas que las anteriores, ya que además implican medidores, gestores de carga, protección contra intemperie, protección contra vandalismo, etc. Aunque es posible utilizar herramientas de gestión, son este tipo de instalaciones las que más requieren de software especializado, que, entre otras cosas, permite conocer el estado de la carga del vehículo, la disponibilidad de las estaciones de carga, el proceso de facturación, entre otras cosas. Este tipo de instalaciones también puede adaptarse a una red inteligente o micro red si se utilizan fuentes renovables como paneles solares y dispositivos de almacenamiento.

## **6.2. Marco regulatorio y políticas públicas**

En este apartado se aborda el estado actual de la movilidad eléctrica en Guatemala desde la perspectiva gubernamental, indicando los planes nacionales en los que esta tecnología es incluida, las proyecciones que se esperan de esta y las acciones que ya se están desarrollando. Más adelante se plantea la situación de la movilidad eléctrica desde la perspectiva de algunos países de la región que han iniciado esta transición antes que Guatemala y que por ello tienen escenarios sobre los cuales se puede apoyar la presente investigación. Por último, se abordan los casos que se han dado en países donde existe más avances en esta materia y donde la movilidad eléctrica es más generalizada. El fin de este capítulo es introducir al lector a los centros de carga pública como una tecnología con potencial para cambiar la movilidad en el país.

### **6.2.1. Planes nacionales**

El Ministerio de Energía y Minas es el ente encargado de realizar una planificación a largo plazo en materia de generación, transporte y uso eficiente de la energía, por este motivo se realizan documentos que enumeran todos los objetivos que tiene el país y las acciones que se realizan o realizarán para que estos objetivos sean alcanzados. Pese a que la movilidad eléctrica tal como se conoce actualmente es un término relativamente nuevo en el mundo y lo es aún más en el país, ya se incluye directamente en algunos planes como se muestra a continuación, además, aunque no sea abordado el término en otros planes que se incluirán en esta sección sí existe una relación directa, el caso del plan de generación es un término a considerar dado un escenario de masificación de la movilidad eléctrica en el cual la matriz energética del país es afectada.

#### **6.2.1.1. Política energética 2019-2050**

La política energética tiene como fin “fijar los lineamientos de largo plazo que permitan garantizar el suministro de los requerimientos energéticos futuros de forma sostenible y a precios competitivos” (MEM, 2019, p. 18). El informe separa los sectores de consumo en 5 agrupaciones, el sector de importancia para el presente estudio es el de Movilidad y transporte, mientras que los ejes transversales de acción que tienen implicación directa con la movilidad eléctrica son Eficiencia energética y Desarrollo sostenible, dado que un automóvil eléctrico es más eficiente en todos sus procesos si se compara con un automóvil de combustión interna, y además asegura un desarrollo que minimiza los impactos ambientales, en específico en la reducción de gases de efecto invernadero.

El MEM (2019) indica que “los vehículos de CI que utilizan gasolina como combustible representan la mayor participación del parque vehicular nacional, y

se espera que para el año 2050 estén en circulación casi ocho millones de automóviles de este tipo” (p. 33). Esta tendencia considera un crecimiento insignificante de la movilidad eléctrica, así como de los automóviles que utilizan combustibles alternos como el GLP. Este crecimiento del parque vehicular tiene repercusiones ambientales drásticas considerando que son uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero, es por ello por lo que el MEM identifica el uso del vehículo eléctrico como una alternativa viable para un desarrollo sostenible y un sector de transporte más eficiente.

Respecto a los vehículos eléctricos el MEM (2019) indica que “es importante reforzar los mecanismos que viabilicen las opciones de adquisición de vehículos eléctricos con el fin de desplazar combustibles fósiles tradicionales” (p. 38). Para tener una idea más clara, según datos de la Unidad de Planificación Energético Minero del MEM (s.f.) citado por MEM (2019, p. 39) es importante señalar que el sector transporte terrestre produjo en 2017 un 53.87 % del total de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que se produjeron en el país.

MEM (2019) indica otro factor importante a tomar en cuenta en la transición hacia la movilidad eléctrica: la seguridad energética, esto debido a que un parque vehicular que depende de la producción de energía de su propio país es más estable que uno que depende de un mercado globalizado y volátil del petróleo, en este sentido se tiene que señalar que el concepto es aplicable siempre que la matriz de generación eléctrica esté compuesta fundamentalmente por recursos naturales propios, tal es el caso de Guatemala, que tiene una capacidad instalada de 70.70 % proveniente de fuentes renovables a enero 2021 (Administrador del mercado mayorista [AMM], 2021). De hecho, esta dependencia energética de la movilidad en el país “ha correlacionado el precio del barril del petróleo con una gran cantidad de bienes que deben movilizarse en la canasta básica” (MEM, 2019, p. 49).

Por las razones expuestas anteriormente la política energética 2019-2050 impulsa la transición energética del consumo de gasolina y diésel hacia el uso de electricidad” (MEM, 2019, p. 53). La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE, s. f.) dentro del pliego tarifario vigente a agosto 2021 tiene disponible las tarifas Baja tensión horaria con demanda, Baja tensión simple horaria y Media Tensión Horaria con demanda, que podría ser una herramienta para el usuario interesado en la instalación de una red de carga. Este tipo de tarifas forma parte de las acciones que ya se especificaban en la Política Energética del MEM al igual que “el diseño de un marco legal operativo que permita el montaje y operación de centros de recarga para vehículos eléctricos a través de la figura de grandes usuarios distribuidos” (MEM, 2019, p. 53).

#### **6.2.1.2. Plan de energía 2017-2032**

El Plan Nacional de energía, vigente aún, y en una línea que va en concordancia con la Política Energética 2019-2050, tiene como “fin último reducir los impactos del cambio climático por medio de la disminución de gases de efecto invernadero” (MEM, 2017b, p. 17). Este documento plantea estrategias y objetivos que faciliten la consecución de metas que el gobierno de Guatemala se ha establecido a partir de su participación en asambleas como la de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, entre otras. Aunque el documento tiene como parte medular la diversificación de la matriz energética y la incorporación de potencia generada de fuentes renovables, menciona algunos datos importantes sobre la movilidad eléctrica y su futuro en el país.

El sector transporte tiene una participación considerable en el consumo energético del país, y debido a que para su operación utiliza principalmente derivados del petróleo, es también uno de los sectores que más emisiones tiene,

es por ello por lo que la incorporación de los vehículos eléctricos es una acción planteada en el plan para reducción de GEI. MEM (2017b) realiza una comparación entre el consumo del vehículo de CI y el vehículo eléctrico que refleja la importancia que su adición al mercado guatemalteco, desde el punto de vista de eficiencia energética:

Actualmente, los vehículos de gasolina de uso particular redondean un cilindraje promedio de 1780 CC, requiriendo un consumo aproximado de 1.92 galones de gasolina para recorrer 100 kilómetros dentro de zonas urbanas lo que equivale a 68.22 kWh por cada 100 kilómetros recorridos a una velocidad promedio de 60 km/h. Por otro lado, los vehículos eléctricos que circulan dentro del territorio nacional están demandando una energía promedio de 1.44 kWh por cada 100 kilómetros recorridos a una velocidad promedio de 60 km/h (p. 84).

De hecho, el uso eficiente de la energía por parte de los vehículos eléctricos es una de las ventajas que tiene frente a los vehículos convencionales, y es una eficiencia bastante notable que va en aumento conforme una tecnología se cambia por la otra. Dentro del Plan Nacional de Energía se indican acciones políticas y fiscales para la adopción de la movilidad eléctrica como incentivos, reducción de impuestos y programas para instalar estaciones de carga de vehículos (MEM, 2017b).

### **6.2.1.3. Plan nacional de eficiencia energética 2019-2032**

El plan de eficiencia energética aborda objetivos de reducción de la energía utilizada en seis sectores que incluyen el transporte, la industria, el comercio y servicio, entre otros. Dentro de sus ejes de acción, para la movilidad

eléctrica es relevante el objetivo de impulsar la inclusión de vehículos eléctricos dado que “son el método más eficiente desde la perspectiva energética para transportar personas en las distintas clasificaciones del sector transporte, puesto que su eficiencia en aprovechamiento de energía consumida es muy elevada” (MEM, 2017a, p. 53).

## **6.2.2. Movilidad eléctrica en Latinoamérica**

La movilidad eléctrica como fenómeno tecnológico ha tenido grandes avances en Latinoamérica y su implementación ha crecido con el apoyo del sector público y privado. Los avances incluyen tarifas eléctricas diferenciadas, beneficios fiscales, beneficios para importación de vehículos, normativas específicas, proyectos piloto, entre otros. PNUMA (2021) indica que “a nivel mundial la movilidad eléctrica basada en baterías se ubica entre los niveles 8 y 9 de madurez, mientras que en América Latina y el Caribe, se podría estimar que se ubica entre los niveles 5, 6 y 7” (p. 20). Esto significa que la región tiene un rango de mejora. Esta sección reúne los datos que se tienen disponibles de países de la región y los avances más significativos en materia regulatoria que podrían replicarse en Guatemala.

### **6.2.2.1. Costa Rica**

Costa Rica ha tenido un crecimiento constante del parque de vehículos eléctricos desde 2010 y hasta el mes de julio 2021 se tienen un total acumulado de 4097 vehículos eléctricos de los cuales 2116 son vehículos de uso diario y 717 son motocicletas (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2021). Aunque la cantidad de vehículos eléctricos que se encuentran en circulación representan un número relativamente pequeño, el Instituto costarricense de electricidad (ICE) ha instalado estaciones de carga rápida y semi rápida, además en 2018 se

promulgó la Ley de Promoción e Incentivos del Transporte Eléctrico (ICE, 2021). Costa Rica implementó un proyecto denominado Electro-corredor turístico Ruta Eléctrica Monteverde. Esta comunidad, sitio turístico importante del país, instaló cargadores de vehículos con el fin de impulsar una movilidad con cero emisiones que concuerda con el principal atractivo de la zona: su biodiversidad. El proyecto consta de 80 puntos de carga distribuidos en comercios, hoteles y restaurantes de la zona y cuya recarga no se cobra al usuario, pues se utiliza como atractivo turístico para que las personas puedan viajar a esta región utilizando vehículos eléctricos. Este proyecto ya se ha replicado en al menos una zona turística más y se tienen planes a futuro para crear un corredor turístico eléctrico. (PNUMA, 2021; Corclima, s.f.).

#### **6.2.2.2. Ecuador**

Ecuador, a través de la Agencia de regulación y control de la electricidad (ARCONEL) implementó una tarifa especial para la recarga de vehículos eléctricos y permitió el ingreso de empresas de capital extranjero para el desarrollo de una infraestructura de carga (Vera et al., 2017). Además, según indica PNUMA (2021) “a finales de 2020 el BID anunció que Ecuador aumentará el presupuesto disponible para financiar inversiones en transporte eléctrico sostenible. El proyecto espera financiar aproximadamente 80 buses y 370 taxis eléctricos en el país” (p. 46).

#### **6.2.2.3. Chile**

Chile por su parte ha implementado un plan de movilidad eléctrica que incluye objetivos como impulsar la penetración de los vehículos eléctricos en el transporte público y establecer regulaciones y estándares que faciliten la incorporación de esta tecnología a gran escala (Ministerio de Energía, 2017).

Además, a través de diferentes documentos técnicos y regulatorios ha establecido normas para la instalación y seguridad de infraestructura de carga y normas para la recarga inteligente que permita una comunicación con la red a la cual se conectan estas. Resaltan entre otros documentos el pliego técnico RIC No. 15 que, “define los diferentes elementos de los centros de carga, así como los tipos de instalación.” (PNUMA, 2021) y la declaración TE-6 para la comunicación de energización de infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos.

#### **6.2.2.4. Uruguay**

“Uruguay tiene tarifas específicas para la carga de vehículos eléctricos con el propósito de incentivar la adquisición y la utilización de vehículos eléctricos que son aplicables a puntos de carga públicos y privados” (PNUMA, 2021, p. 55). Estas tarifas tienen valores diferentes según el horario en el que se realice la carga, al igual que en Guatemala, se tiene tres horarios de demanda de energía diferente y la tarifa diferenciada tiene como fin maximizar la recarga en el horario valle y minimizarla en el horario de punta. Esta tarifa se aplica a todos los puntos de recarga de la Administración Nacional de las Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) y se realiza utilizando una tarjeta de recarga que en forma mensual detalla las cargas utilizadas y emite una factura comercial asociada a éstas. (UTE, s. f.)

#### **6.2.3. Movilidad eléctrica en mercados desarrollados**

Los mercados analizados en esta sección, a diferencia de los mercados latinoamericanos, tienen avances más destacados en movilidad eléctrica y un amplio rango de características en función de factores como: tipo de residencia, patrones de manejo, stock de cargadores residenciales, entre otros. Tanto en la

región, como en Guatemala es importante determinar los factores que inciden en el crecimiento del parque vehicular y las herramientas que deben utilizarse para este fin, por ello esta sección destaca lo hecho en ciudades con mercados ya establecidos.

### **6.2.3.1. Estados Unidos**

Estados Unidos ha tenido un crecimiento en las ventas de vehículos eléctricos vertiginosa, solamente en 2018 las ventas estuvieron por encima de los 350,000 vehículos, mientras que en el 2017 las ventas alcanzaron poco más de 200,000 (Slowik y Lutsey, 2019), esto significa un incremento en ventas de alrededor del 175 %. Este crecimiento en ventas también se ve reflejado en la cantidad de puntos de carga que existen en el país, Slowik y Lutsey (2019) calculan los puntos de carga per cápita en 50 áreas metropolitanas y los separan por tipos de carga. San José tiene cerca de 140 puestos de carga rápida en DC públicos por millón de habitantes, cerca de 800 puntos de carga tipo 2 por millón de habitantes y alrededor de 1400 puntos de carga en lugares de trabajo por millón de habitantes. San José es la ciudad con más puntos de carga per cápita en Estados Unidos, le siguen San Francisco, San Diego, Los Ángeles y Sacramento.

Slowik y Lutsey (2019) indican que las políticas de gobierno implementadas por California y otros nueve estados que adoptaron la regulación vehicular Cero Emisiones han permitido un crecimiento acelerado debido a que esta requiere un incremento del parque vehicular hasta 2025. Hall y Lutsey (2020) identifican que “en California 83 % de los conductores cargan sus vehículos en casa, este porcentaje es mayor para aquellos que viven en casas individuales (90 %) y mucho menor para aquellos que viven en apartamentos (35 %)” (p. 6). Otro dato que comparten Hall y Lutsey (2020) es que Los Ángeles tiene 39 vehículos

eléctricos por punto de carga, un número similar al que tienen ciudades como Madrid y Oslo. La cantidad de vehículos eléctricos por puntos de carga o los puntos de carga per cápita son indicadores que pueden ser planteados para dimensionar la infraestructura adecuada.

### **6.2.3.2. Europa**

Al igual que Estados Unidos, varios países de Europa tienen un mercado ya establecido con regulaciones e incentivos que promueven la movilidad eléctrica y la creación de espacios para recarga vehicular. Según datos del European Alternative Fuels Observatory (citado por Fluchs, 2020) para el año 2017 Noruega tenía un stock de vehículos eléctricos puros de poco menos de 120,000, mientras que Francia superaba los 90,000 y Alemania tenía alrededor de 70,000.

En Noruega, durante el 2017 de cada 100 vehículos que se vendieron, aproximadamente 21 fueron vehículos eléctricos puros, En Dinamarca, 2.2 % de los vehículos que se registraron en 2015 fueron BEVs, y en Bélgica, casi el 2 % de nuevos registros fueron BEVs en 2017 (Fluchs, 2020). Como se ha visto en otros mercados y se ha mencionado antes, los incentivos gubernamentales son una herramienta eficaz para el crecimiento de esta nueva tecnología, es por ello por lo que, hasta el año 2019 en veinticuatro países de la Unión Europea se han aplicado incentivos para los consumidores de vehículos eléctricos (Fluchs, 2020).

Sin embargo, no todos los países tienen un crecimiento igual, y aunque algunos tienen normativas establecidas, como el caso de España, su crecimiento de vehículos eléctricos es aún inferior al de otros países como Alemania, Francia, Reino Unido, Países Bajos y Noruega, que “son los países con mayores ventas

de vehículos eléctricos y representan el 75 % de todas las ventas de BEV y PHEV en Europa (Fluchs, 2020, p. 3).

Algunas estrategias destacadas desde el punto de vista política que destacan son las desarrolladas por el Ministerio de transporte y el Ministerio de Ambiente de Austria que en cooperación con la industria automovilística del país desarrollaron un conjunto de acciones que se reúnen en el “E-Mobilistätspaket” y cuyo fin es promover la movilidad eléctrica. Este paquete incluye entre otros el desarrollo de una infraestructura de recarga vehicular en el país (Iwan et al., 2019).

Es de notar que las políticas implementadas varían entre un país y otro e incluyen proyectos de incentivos que buscan documentar los resultados obtenidos por empresas y usuarios particulares que adquieran vehículos eléctricos. Ese es el caso de un proyecto desarrollado en Dinamarca especialmente para vehículos comerciales que reciben un subsidio de €2700 del programa de financiamiento Danish Energy para comprar un vehículo Nissan e-NV200. A cambio las empresas involucradas comparten sus experiencias y se hace una comparación entre el vehículo eléctrico y su equivalente Nissan NV-200 que utiliza Diésel (Iwan et al., 2019).

Respecto al tipo de recarga que predomina en Europa, Hall y Lutsey (2020) indican que “dos tercios de la recarga de vehículos eléctricos en Alemania se realiza en casa, mientras que 61 % de los británicos que respondieron una encuesta sobre recarga vehicular indicaron que prefieren la recarga en casa” (p. 6). No obstante, las estaciones de recarga vehicular públicas en Europa son más comunes que en Estados Unidos, Ámsterdam tiene casi 10,000 estaciones de carga mientras que Londres, París y Oslo tienen alrededor de 5,000 (Hall y Lutsey, 2020).

Oslo y Ámsterdam son las ciudades europeas con más puntos de recarga pública, Oslo tiene 3000 puntos por millón de habitantes y Ámsterdam 2750. Estos valores son bastante mayores a los que tienen las ciudades estadounidenses abordadas previamente y muestran otro tipo de mercado en el que la infraestructura pública juega un rol más importante (Hall y Lutsey, 2020).

### **6.2.3.3. China**

China es el mercado más grande de vehículos eléctricos del mundo, en 2017 su stock de vehículos eléctricos puros era de alrededor de 1,400,000 (Fluchs, 2020) y para 2018 las ciudades de Shenzhen, Beijing y Shanghai tenían entre 40,000 y 60,00 puntos de recarga pública cada una (Hall y Lutsey, 2019).

El crecimiento de este mercado se debe a proyectos de comercialización implementados por el gobierno chino, específicamente uno resalta del resto, que tuvo lugar entre enero de 2009 y diciembre de 2012 en 25 ciudades y que fue conocido como “el proyecto de demostración” (Wang, Pan y Zheng, 2017; Dulcich, Otero y Canzian, 2019), el éxito estuvo por sobre las expectativas del gobierno y propiciaron un segundo periodo entre 2013 y 2015. Para este plan “El gobierno chino promulgó una serie de incentivos para alcanzar sus objetivos propuestos cubriendo varios aspectos incluyendo producción, compra, uso e infraestructura de recarga” (Wang, Pan y Zheng, 2017, p. 178). Estas acciones permitieron que el mercado chino pasara a ser el mercado con mayores ventas de EVs a partir del 2015. El crecimiento de este mercado no solo es en la cantidad de vehículos registrados sino en la producción de estos, por ello cuatro empresas chinas hasta 2018 se encontraban en el top 10 de ventas de EVs a nivel global (BYD, BAIC, Roewe y Chery) (Dulcich et al., 2019).

### **6.3. Electromovilidad y red eléctrica**

El despegue de la electromovilidad tiene como fin mejoras ambientales y transporte más eficiente, sin embargo, si la recarga de vehículos eléctricos no se realiza con los estudios de red adecuados podría incrementar pérdidas en líneas de distribución, sobrecarga de transformadores, deterioro de la calidad de la energía, entre otras cosas. Además, una recarga masificada coincidente con la carga horaria pico de un país o región puede requerir despachar unidades más caras y menos eficientes (Mazariegos, 2021; Ávila, 2021). Por esta razón se necesita definir conceptos relacionados con la red eléctrica para comprender el impacto que un manejo inadecuado de la recarga vehicular puede tener y para luego establecer parámetros adecuados de recarga horaria, capacidad instalada y calidad de la energía.

#### **6.3.1. Red de distribución**

La red de distribución es el último eslabón de un sistema de potencia, luego que ha pasado por la generación y el transporte, la energía eléctrica es entregada al usuario final por medio de una línea primaria o secundaria cuyo nivel de voltaje en Guatemala está normado en 13.8 kV o 34.5 kV para una línea primaria y 120/240 V o 120/208 V para una línea secundaria. El servicio de distribución, según Ramírez (2004) está conformado por 4 elementos: subestaciones receptoras secundarias, circuito primario, transformador de distribución y circuito secundario. A continuación, se definen algunos elementos y fenómenos que se deben tomar en cuenta para mantener un servicio de distribución eficiente y de calidad.

### **6.3.1.1. Transformador de distribución**

El transformador de distribución es el encargado de bajar el nivel de tensión de la línea primaria en 13.8 kV o 34.5 kV a un nivel de tensión que el usuario pueda utilizar en su residencia, comercio o industria. Dependiendo del tipo de acometida que el usuario requiera podrá ser instalado un transformador monofásico de poste, un banco trifásico con transformadores de poste, o un transformador trifásico tipo pedestal.

Los transformadores de distribución de poste son transformadores de baja potencia que son enfriados por aceite dieléctrico, el cual se encarga de transportar el calor desde los devanados hasta la superficie del tanque y al mismo tiempo aislar eléctricamente los devanados.

Los transformadores de pedestal “son equipos que están dentro de un gabinete colocados en la intemperie con terminales de media tensión de frente muerto, cuentan con protección en armario y gabinete que evitan descargas eléctricas hacia las personas” (Carpio y Llivicura, 2015, p. 3). Este tipo de transformadores se seleccionan cuando no es posible una acometida aérea o las líneas de distribución están muy alejadas de la carga. Son de uso común en comercios o centros de educación.

### **6.3.1.2. Servicio de distribución**

La CNEE define los servicios de distribución de acuerdo con las características de una zona como servicio rural o servicio urbano, un servicio urbano “se presta en poblaciones que son cabeceras departamentales o municipales o en aglomeraciones poblacionales en los cuales la distancia entre acometidas es menor a cincuenta metros” (CNEE, 1999, p. 5) mientras que un

servicio rural es el que se presta en poblaciones que no cumplen con la definición anteriormente dicha (CNEE, 1999). Asimismo, una red de distribución puede ser aérea o subterránea, dependiendo de las características de la zona, una red subterránea se tiene en lugares donde la estética es importante, se observa en condominios o en zonas turísticas. Para el caso del presente estudio se puede dar el caso de tener servicios de distribución urbanos con líneas aéreas o subterráneas.

### **6.3.1.3. Distorsión armónica**

La CNEE (1999) la define como “la distorsión de la onda senoidal de corriente o tensión de frecuencia nominal ocasionada por la presencia de señales eléctricas senoidales de frecuencias diferentes y múltiples de dicha frecuencia nominal” (p. 5). Esta distorsión la pueden ocasionar distintos tipos de carga que se encuentran conectadas a la red, y puede ser responsabilidad de la distribuidora o del usuario, la máxima distorsión armónica admitida está regulada por la CNEE que también fija procedimientos de medición para asegurarse que se cumple con la calidad de la energía establecida, esta medición se realiza tanto para la corriente como para la tensión.

Según Lucas, Bonavitacola, Kotsakis y Fulli (2015) la distorsión de la corriente es algo común cuando se tiene cargas no lineales como los controladores de carga de vehículos eléctricos debido a la utilización de electrónica de potencia que permite la conversión de potencia AC en potencia DC. Es por es por esto por lo que existen estándares que indican buenas prácticas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas de potencia como el IEC 61000-3-12 o el IEEE Standard 519-1992.

#### **6.3.1.4. Tarifas horarias**

Una herramienta que puede ser de mucha utilidad para los usuarios de vehículos eléctricos y que también se tiene en países de Latinoamérica como México o Uruguay (UTE, s.f.; Dulcich et al., 2019) son las tarifas eléctricas en función de la hora del día y del consumo que tiene el país. En esta línea, Guatemala cuenta dentro del pliego tarifario con tarifas que diferencian el costo del consumo en función de la banda horaria en la que se tiene la demanda, y es una tarifa que aplican tanto empresas eléctricas municipales como empresas distribuidoras privadas (CNEE, s. f.). Empresa eléctrica de Guatemala ([EGGSA], s.f) indica que las tres bandas en las que se puede tener tarifas diferentes son:

- Banda valle: 22:00 a 06:00 horas
- Banda intermedia: 06:00 a 18:00 horas
- Banda punta: 18:00 a 22:00 horas

La banda valle es de beneficio directo para los usuarios que utilicen carga residencial en su propia casa o bien en un punto de carga público cerrado como en condominios o edificios, mientras que los precios de la banda intermedia pueden beneficiar a un usuario que utilice recarga pública.

#### **6.3.1.5. Infraestructura de medición inteligente**

La medición inteligente es una herramienta cada vez más utilizada para la gestión eficiente de la demanda de energía eléctrica, Bian, Kuzlu, Pipattanasomporn y Rahman (2014) indican que la infraestructura de medición inteligente (AMI) “se refiere al sistema de medición y recolección que incluye medidores inteligentes, redes de comunicación, y sistemas de manejo de datos que permiten tener información disponible al proveedor del servicio” (p. 1). Esta

información permite a los usuarios conocer sus horarios de máxima demanda, las demandas de potencia activa y reactiva y conocer los precios en tiempo real del consumo que tienen (Bian et al, 2014; EEGSA, s.f.).

Ruiz y García (2015) indican los medios por los cuales se puede realizar la transmisión de la información desde el medidor inteligente hasta la zona de control y los separan como medios guiados y no guiados. “Los medios guiados incluyen la red telefónica pública conmutada (PSTN), la portadora en la línea de alimentación (PLC), Ethernet y cable módems” (p. 2) Por otro lado los medios no guiados incluyen Zigbee, infrarrojos, RFID, entre otros. Este tipo de medición está disponible en Guatemala para los usuarios de la distribuidora EEGSA y representa una oportunidad de gestión eficiente de centros de carga vehicular.

### **6.3.2. Gestión de la recarga vehicular y fenómenos en la red de distribución**

La gestión de la demanda de energía eléctrica es un factor importante en la incorporación de la movilidad eléctrica a las ciudades o regiones, como ya se mencionó, esta gestión se puede hacer a través de tarifas horarias que promuevan la recarga en horarios de menor consumo general o a través de sistemas de medición inteligente que estén en constante comunicación con el dispositivo de recarga. Para comprender de manera más amplia lo anterior se presentan los siguientes casos de estudio y se analiza los elementos que podrían ser relevantes para la gestión aplicada al mercado guatemalteco.

#### **6.3.2.1. Gestión en tiempo real**

Meza y García (2018) realizan un estudio para la asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos basado en la respuesta a la demanda,

indican que “el objetivo principal de la Respuesta a la demanda es asignar recursos existentes de tal manera que permita utilizar la energía ya disponible ayudando a no incrementar nueva capacidad de generación” (p. 66). La gestión de la recarga se realiza utilizando el algoritmo húngaro que Arias (2019) define como “la aplicación del método científico para la asignación de actividades o recursos de una manera eficaz” (p. 8). Esto permite a los autores modelar un sistema que responde a la demanda y minimiza el impacto en la red. Los resultados obtenidos muestran que “al despachar los recursos energéticos de manera óptima se puede reducir la cantidad de picos en la curva de demanda durante las horas de alta carga” (Meza y García, 2018, p. 73). Además, el estudio analiza dos escenarios, verano e invierno, por lo cual el modelo determina las horas de mayor radiación solar que se tienen durante el verano y optimiza el uso de energías renovables variables para la asignación de la demanda (Meza y García, 2018). La importancia de este tipo de gestión radica en que las distribuidoras tienen contratos para cubrir su demanda firme con generadoras provenientes de fuentes renovables que pueden tener mayor o menor despacho durante el día, un modelo adecuado maximiza el uso de este tipo de generación obteniéndose menores impactos ambientales en la recarga vehicular y evitando, como ya se dijo, incrementar la capacidad de generación.

Mendoza, Quintero, Santamaria y Alarcon (2016) abordan la importancia del manejo de la carga vehicular en tiempo real mediante una metodología que tiene como fin mantener los elementos del sistema de distribución operando dentro de valores adecuados, por ello “proponen un esquema de gestión para la recarga masiva de vehículos eléctricos a partir de la curva de carga del transformador que alimenta un circuito de distribución residencial” (p. 782). Para replicar las demandas de recarga que un punto puede tener utilizan características como patrones de movilidad y los requerimientos de las diferentes baterías de vehículos que se encuentran en el mercado. Indican que:

Una vez se ha caracterizado la demanda de los vehículos, ésta es adicionada al consumo residencial de la zona de estudio para diseñar un algoritmo de gestión basado en el método de selección de sensibilidades máximas que determina la contribución de pérdidas al sistema a causa de las recargas de vehículos eléctricos (Mendoza et al., 2016, p. 782).

El resultado del estudio muestra que una gestión adecuada permite la recarga de vehículos eléctricos utilizando infraestructuras existentes con una penetración de vehículos eléctricos de hasta 37 %, sin embargo, ante una mayor penetración de vehículos eléctricos, aún con gestión en tiempo real podría provocar desbalances de tensión o sobrecargas de potencia en los elementos de la red (Mendoza et al., 2016). La importancia del estudio es que muestra los beneficios de la gestión en tiempo real de recarga vehicular como permitir conexiones a la red sin necesidad de repotenciar líneas ni ocasionar un incremento de pérdidas.

#### **6.3.2.2. *Aggregator***

Un *Aggregator* es un tipo de agente del mercado eléctrico que reúne y organiza a consumidores, generadores y prosumidores para manejar de manera inteligente el flujo de potencia dentro de una red, esto con el fin de reducir los costos de la energía y hacer un uso eficiente de ella, así, un *Aggregator* puede organizar fuentes de generación distribuida renovable variable, fuentes de energía provenientes de baterías o energía demandada y suministrada por las baterías de los vehículos eléctricos (*International Renewable Energy Agency [IRENA], 2019*).

IRENA (2019) define al *Aggregator* como “una compañía que opera una planta de generación virtual que reúne generación distribuida con el objetivo de

disponer estas fuentes pequeñas de energía para proveer servicios a la red” (p. 6). Este tipo de entidad debe estar en constante comunicación con el centro de operación de las empresas de distribución y transporte de energía y con los dispositivos de recarga de vehículos tal como lo indica Vera et al. (2017), esto con el fin de determinar en qué momento es más conveniente recargar la batería del vehículo y en qué momento es conveniente vender energía a la red, Guille y Gross (2009) indican que para que la batería de un vehículo pueda suministrar eficientemente energía a la red esta debe tener una carga por encima del 60 % de su carga total .

Los servicios que pueden prestar un grupo de vehículos eléctricos conectados a la red coordinados por un *Aggregator* pueden ser regulación de la frecuencia y regulación del voltaje (Vera et al., 2017), la potencia instalada de esta tipo de plantas virtuales es la suma de todas las fuentes que se tienen, lo que significa que para que este tipo de proyecto sea factible el parque de vehículos eléctricos debe ser grande, del mismo modo, el número de puntos de recarga debe ser elevado y tener protocolos de comunicación adecuados.

### **6.3.2.3. Medición de armónicos**

Lucas et al. (2015) analizan la cantidad de armónicos que se inyectan en la red eléctrica debido a una recarga múltiple de vehículos utilizando el modo de carga rápida, la metodología que utilizaron fue realizar mediciones cada 0.25 segundos por aproximadamente 40 minutos. El resultado muestra que “existen una gran predominancia de los armónicos 3, 5, 7, 9, 11 y 13, además, la mayor variación en los ángulos de fase se dio en los terceros y novenos armónicos” (p. 17). Debido a la curva de carga que tienen las baterías de ion de litio “el THD tuvo una tendencia al crecimiento al final del ciclo de recarga, lo cual puede ser explicado debido al decremento de la demanda de corriente en esta fase” (p. 17).

La máxima distorsión armónica total de la corriente fue de 47 % mientras que para el voltaje fue de 1.16 % en la mayoría del ciclo de carga manteniéndose siempre por debajo del límite de 5 % que establecen las normas IEC e IEEE (Lucas et al., 2015). El estudio muestra que algunos armónicos de la corriente como el onceavo pueden estar fuera de los límites establecidos por las normas. Por lo tanto, se puede concluir que es necesario tener un control adecuado de los armónicos cuando para puntos de carga rápida para mantener la red de distribución dentro de los valores óptimos que establecen las NTSD.

## 7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMAS

- 1.1. Descripción del problema
- 1.2. Formulación del problema
- 1.3. Delimitación del problema

### 2. RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

### 3. MARCO REFERENCIAL

- 3.1. Estudios previos
- 3.2. Antecedentes

### 4. MARCO TEÓRICO

- 4.1. Movilidad eléctrica
  - 4.1.1. Vehículo eléctrico
    - 4.1.1.1. Vehículo eléctrico de baterías
    - 4.1.1.2. Vehículo híbrido enchufable
    - 4.1.1.3. Vehículo eléctrico de rango extendido

- 4.1.1.4. Sistema de recuperación de energía (KERS)
- 4.1.1.5. Autonomía del vehículo eléctrico
- 4.1.1.6. Batería de iones de litio
- 4.1.2. Infraestructura de carga vehicular
  - 4.1.2.1. Tipos de carga
    - 4.1.2.1.1. Carga lenta
    - 4.1.2.1.2. Carga normal
    - 4.1.2.1.3. Carga semi rápida
    - 4.1.2.1.4. Carga rápida
  - 4.1.2.2. Tipos de conectores
    - 4.1.2.2.1. Modo 3
    - 4.1.2.2.2. Modo 4
  - 4.1.2.3. Tipos de infraestructura de carga
    - 4.1.2.3.1. Instalaciones de carga residencial
    - 4.1.2.3.2. Instalaciones de carga en puestos de trabajo
    - 4.1.2.3.3. Instalaciones de carga de acceso público
- 4.2. Marco regulatorio y políticas públicas
  - 4.2.1. Planes Nacionales
    - 4.2.1.1. Política Energética 2019-2050
    - 4.2.1.2. Plan de Energía 2017-2032
    - 4.2.1.3. Plan Nacional de Eficiencia Energética 2019-2032
  - 4.2.2. Movilidad eléctrica en Latinoamérica
    - 4.2.2.1. Costa Rica
    - 4.2.2.2. Ecuador

- 4.2.2.3. Chile
      - 4.2.2.4. Uruguay
    - 4.2.3. Movilidad eléctrica en mercados desarrollados
      - 4.2.3.1. Estados Unidos
      - 4.2.3.2. Europa
      - 4.2.3.3. China
  - 4.3. Electromovilidad y red eléctrica
    - 4.3.1. Red de distribución
      - 4.3.1.1. Transformador de distribución
      - 4.3.1.2. Servicio de distribución
      - 4.3.1.3. Distorsión armónica
      - 4.3.1.4. Tarifas horarias
      - 4.3.1.5. Infraestructura de medición inteligente
    - 4.3.2. Gestión de la recarga vehicular y fenómenos en la red de distribución
      - 4.3.2.1. Gestión en tiempo real
      - 4.3.2.2. *Aggregator*
      - 4.3.2.3. Medición de armónicos

## 5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 5.1. Características del estudio
  - 5.1.1. Diseño
  - 5.1.2. Enfoque
  - 5.1.3. Alcance
  - 5.1.4. Unidad de análisis
- 5.2. Variables
- 5.3. Fases de estudio
  - 5.3.1. Fase 1: exploración bibliográfica

- 5.3.2. Fase 2: recolección de la información y análisis cualitativo
- 5.3.3. Fase 3: síntesis de la información
- 5.3.4. Fase 4: análisis cuantitativo de la información
- 5.3.5. Fase 5: interpretación de la información
- 5.4. Presentación de escenarios de penetración de la movilidad eléctrica
  - 5.4.1. Factores relacionales
  - 5.4.2. Tendencias de crecimiento optimistas
  - 5.4.3. Tendencias de crecimiento medio
  - 5.4.4. Tendencias de crecimiento bajo
- 5.5. Resultados de las entrevistas
  - 5.5.1. Resumen de variables categóricas
  - 5.5.2. Resumen de variables numéricas
- 5.6. Técnicas de análisis de la información
  - 5.6.1. Análisis de contenido
  - 5.6.2. Gráfica interés poder
  - 5.6.3. Prueba T
  - 5.6.4. Chi cuadrado
  - 5.6.5. Estadística descriptiva
  - 5.6.6. Estadística inferencial

## 6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 6.1. Escenarios de crecimiento analizados
- 6.2. Determinación de tecnologías con base en tendencias y mercado guatemalteco
  - 6.2.1. Vehículos que se comercializan en Guatemala
  - 6.2.2. Tendencias de fabricación de vehículos eléctricos
  - 6.2.3. Tendencias en la fabricación de baterías

- 6.2.4. Estándares
- 6.2.5. Tipos de conectores seleccionados
- 6.2.6. Modos de recarga seleccionados
- 6.2.7. Tipos de infraestructura seleccionadas
- 6.3. Determinación de la demanda de energía eléctrica ante escenarios establecidos
  - 6.3.1. Demandas de energía eléctrica diaria, semanal y anual
  - 6.3.2. Crecimiento de la demanda
  - 6.3.3. Modificación de la carga horaria
  - 6.3.4. Relación entre crecimiento vehicular y demanda de energía eléctrica
  - 6.3.5. Precio spot
  - 6.3.6. Impactos en la red de distribución
- 6.4. Selección de zonas óptimas para instalación de puntos de recarga
  - 6.4.1. Con base en características de movilidad
  - 6.4.2. Con base en los parámetros de la red eléctrica
  - 6.4.3. Con base en los parámetros de la red y las características de movilidad

## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 7.1. ¿Cuáles son los tipos y modos de carga que se requieren en el presente y futuro de la movilidad eléctrica de Guatemala?
- 7.2. ¿Qué tipos de infraestructura de recarga se requieren según las características de movilidad y de mercado en Guatemala?
- 7.3. ¿Cómo es la variación de la demanda de energía eléctrica en un día, en un mes y en un año debido a los puntos de recarga y

cómo afectan la red eléctrica, la carga horaria y la matriz energética del país?

7.4. ¿Qué variables se deben tomar en cuenta para seleccionar una zona óptima para la construcción de un punto de recarga vehicular?

7.5. ¿Es posible una estandarización de los centros de recarga vehicular en el país?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

## **8. METODOLOGÍA**

### **8.1. Características del estudio**

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo porque se analizan datos relacionados con una red de distribución a la cual se añadirá una carga que modifica sus parámetros eléctricos y su curva de carga para determinar cuáles son los límites seguros y eficientes que debe tener o que deben ser instalados para el correcto funcionamiento de un centro de carga. El estudio también tiene como fin determinar los valores de protección y control adecuados según el tipo de mercado que se tiene en una determinada zona.

Con herramientas estadísticas se realiza un análisis entre el crecimiento de la infraestructura de recarga vehicular y el crecimiento del parque vehicular en Guatemala y los lugares más adecuados para la instalación de un centro de carga en función de los comportamientos de movilidad que se registran en las diferentes regiones del país.

El alcance del estudio es descriptivo-correlacional debido a que tiene como fin establecer un número de características, valores y criterios que deben considerarse para la instalación de un puesto de carga en un lugar determinado del país, utilizando estadística descriptiva.

Además, establecer relaciones entre las siguientes variables: el crecimiento del parque vehicular y el crecimiento de la infraestructura de carga pública; la cantidad y ubicación de estaciones de carga y la aceptación del

vehículo eléctrico como medio de transporte. Para ello se desarrollarán modelos utilizando herramientas de estadística inferencial.

El diseño abordado será de tipo no experimental dado que no se tiene control sobre las variables de investigación. Esto debido que la movilidad eléctrica es un fenómeno que depende de factores que no están en manos del investigador. Por lo tanto, únicamente se analizan los fenómenos descritos en el marco teórico y en el marco metodológico para determinar relaciones causales entre algunas variables y establecer criterios a partir de la observación del fenómeno tomando en cuenta proyecciones de estudios previos y normativa aplicable de tal manera que, utilizando herramientas estadísticas se pueda proporcionar una descripción del problema que permita plantear una solución a los objetivos establecidos.

## **8.2. Unidades de análisis**

La unidad de análisis que se abordará en el estudio es la infraestructura de recarga vehicular que tiene propiedades como ubicación, demanda de energía, cantidad de unidades por zona, niveles de protección y control y tipos de conectores. Esta unidad se relaciona con el número de vehículos de una región, el nivel de voltaje y la capacidad de una red de distribución o de un transformador y el tipo de vehículos y usuarios que harán uso de la infraestructura.

## **8.3. Variables**

Las variables de estudio se presentan en la tabla II y se clasifican en categóricas y numéricas. También se incluye el nivel de medición y si la variable es manipulable u observable desde el punto de vista de la investigación. Esta

clasificación permitirá seleccionar las herramientas estadísticas para análisis y presentación de los datos obtenidos.

Tabla II. **Tipo de variables**

Criterio Variable	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Ubicación		X			X		Nominal
Demanda de Energía				X	X		Razón
Cantidad de unidades de carga			X		X		Razón
Tipo de protección		X				X	Ordinal
Tipo de control		X				X	Nominal
Tipo de conector		X				X	Nominal
Número de vehículos			X			X	Razón
Nivel de voltaje			X		X		Razón
Potencia Instalada				X	X		Razón
Tipo de vehículo		X				X	Nominal

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Las variables en estudio se describen en la tabla III.

Tabla III. Descripción de las variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Ubicación	Espacio físico en el que se instalara un centro de carga vehicular.	Se realizará una medición en función de las características de una zona, las diferentes categorías son: zonas de comercio, de oficinas, de turismo y residencial
Demanda de Energía	Cantidad de potencia requerida en un tiempo definido.	Se medirá en función de la potencia que demandan los diferentes tipos de vehículos y en función del modo de carga que determina el tiempo requerido para la recarga, la unidad de medida es kWh.
Cantidad de unidades de carga	Número de cargadores disponibles para recarga de vehículos en un sitio.	Se medirá de acuerdo con la ubicación y a la cantidad de vehículos, la unidad de medida es cardinal.
Tipo de protección	Elementos de desconexión que permitan un desempeño seguro para las personas y los equipos.	Se medirá en función del nivel de tensión, la cantidad máxima de demanda de energía y la ubicación del puesto de carga, las unidades de medida son nivel de protección y tipo de esquema de conexión.
Tipo de control	Elemento que permita un análisis en tiempo real de la demanda de energía para realizar un cobro.	Se medirá de acuerdo con el nivel de tensión y potencia instalada, la unidad de medida es la clase del medidor.

Continua Tabla III.

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
Tipo de conector	Tipo de tecnología que permite la conexión de la batería de un vehículo eléctrico a un cargador.	Se medirá en función del tipo de corriente y nivel de carga, sus unidades de medida son: Clase 1, Clase 2, CHAdeMO y combo 2.
Número de vehículos	Cantidad de vehículos que están registrados en Guatemala y que requieren un cargador.	Se medirá según datos recabados de la SAT y otras fuentes de información, su unidad de medida es cardinal.
Nivel de voltaje	Valor de tensión eléctrica normalizado que se utiliza en una zona.	Se medirá de acuerdo con la ubicación del centro de carga, su unidad de medida es el voltio.
Potencia	Capacidad instalada de corriente eléctrica de un equipo o elemento del sistema que tiene un nivel de voltaje establecido.	Se medirá de acuerdo con la cantidad de cargadores y el tipo de carga. Su unidad de medida es el Watt.
Tipo de vehículo	Tipo de tecnología que utiliza un vehículo para su propulsión.	Se medirá según datos recabados por la SAT y otras fuentes de información, sus unidades de medida son Híbrido enchufable, eléctrico puro y eléctrico de rango extendido.

Fuente: elaboración propia, realizad con Word.

## **8.4. Fases de estudio**

Se considera que el presente estudio puede separarse en cinco fases y que esta separación permitirá abordar de manera adecuada los objetivos de la investigación.

### **8.4.1. Fase 1: exploración bibliográfica**

En esta primera fase se hace una revisión bibliográfica de estudios relacionados con la movilidad eléctrica y con las estaciones de recarga pública y su gestión. Se analizan tres tipos de fuentes: primero, se aborda todo lo posible que permita tener claros los conceptos teóricos relacionados con el estudio; segundo, se analizan tendencias de la movilidad eléctrica y el crecimiento del parque vehicular, tanto en Guatemala como en otros países, de tal manera que se pueda remarcar factores que apoyen los objetivos propuestos; por último, una exploración de investigaciones que apoyen directamente el desarrollo del estudio, esto último se dará de acuerdo a los requerimientos que se den durante la recolección de información y la redacción del trabajo.

### **8.4.2. Fase 2: recolección de la información y análisis cualitativo**

La recolección de la información inicia con el análisis de las tendencias para los próximos diez años en Guatemala que han realizados investigadores, empresas y organismos gubernamentales respecto al crecimiento del parque vehicular para establecer la calidad de la información, determinar similitudes y las herramientas que cada uno ha utilizado para determinar cuáles estudios son adecuados para la presente investigación. El siguiente paso es establecer comunicación con personas que están inmersas en el tema en Guatemala y en

la región, por medio de asociaciones y profesionales con los cuales ya se ha tenido un primer acercamiento a los cuales se hará entrevistas para obtener un panorama actual y futuro de la movilidad eléctrica. Además, permitirá conocer el estado actual del mercado desde la perspectiva de los comercializadores de vehículos eléctricos, desde la perspectiva de empresas que utilizan vehículos eléctricos y desde la perspectiva de investigadores en el área. Debido a que se comercializan e importan vehículos de diferentes marcas en Guatemala, se debe determinar cuáles son los modos de carga y tipo de conectores que se requieren, es decir que en esta primera fase se determinarán los requerimientos propuestos en el primer objetivo específicos de la investigación. La entrevista será cara a cara de tipo semiestructurada y con un muestreo tipo bola de nieve, es decir, que los primeros entrevistados podrán referir otros profesionales con conocimientos similares o en áreas aún más específicas. Una estructura preliminar de esta investigación se encuentra en el apéndice 1. La información recabada se analizará de manera cualitativa por medio de un análisis de contenido, una tabla de contingencia, chi cuadrado y de gráficas interés-poder.

#### **8.4.3. Fase 3: síntesis de la información**

La tercera fase implica una discriminación de la información, descartar los documentos, las tendencias y los conocimientos que no son de utilidad y remarcar aquellos que sí lo son, esto se realizará utilizando la prueba T que se describe en la sección 10.2.6. Durante esta fase también pueden afinarse los métodos que se utilizarán para analizar la información que se recabó. En esta fase, una vez se conozca el estado actual y futuro de la movilidad y los requerimientos que el parque vehicular tiene, será posible determinar el tipo de infraestructura de carga pública que es el tercer objetivo de la investigación, esto se hará tomando en cuenta cómo es el mercado actual y cuáles son las tendencias. Esta fase incluye un análisis de contenido y una tabla de contingencia

que permitirá reducir, presentar y comparar la información por medio de análisis de chi cuadrado.

#### **8.4.4. Fase 4: análisis cuantitativo de la información**

El fin de esta fase es manipular estadísticamente la información recabada para cumplir con los objetivos faltantes del estudio. Esto se hará mediante estadística descriptiva, presentando datos recabados en distribuciones de frecuencias, análisis de tendencia central como la media, la moda y la mediana, diagramas de barras y de pastel de los datos cuantitativos que fueron recabados en la fase 2, además se hará un análisis de variabilidad los mismos que apoyarán en el proceso de discusión de resultados. También se utilizará estadística inferencial para poder presentar los resultados de la investigación planteando relaciones causales como la demanda de energía eléctrica en función de diferentes escenarios de demanda durante lapsos de tiempo establecidos o las características que más benefician puntos de carga en determinadas zonas, también determinar la relación entre crecimiento del parque vehicular y crecimiento de puntos de carga. Lo anterior dicho tiene como fin cumplir con el tercer y cuarto objetivo específico de la investigación.

#### **8.4.5. Fase 5: Interpretación de la información**

Debido a que en la fase 4 se presentan los datos de manera estadística es posible interpretar el significado de estos resultados y responder de manera concisa las preguntas de investigación. Mediante herramientas cualitativas y cuantitativas se analiza la cantidad de vehículos en funcionamiento y las tendencias de comercialización, se identifican las marcas y las tendencias en recarga vehicular, a partir de lo cual se establecen los modos de carga que se utilizarán en el país y los tipos de conectares que se utilizarán.

En función de los requerimientos que se respondieron en la primera pregunta y del análisis de las características de movilidad en el país se establecen los tipos de centros de carga que se requieren, es decir, tipo electrolinera, tipo cargadores de uso temporal de entre 1 y 3 horas en parques, gimnasios o centros comerciales o centros de carga de mayor de uso temporal más prolongado, entre 3 y 8 horas como en cercanía de zonas de oficinas, hospitales o industrias, en este caso también se pretende determinar la cantidad óptima de cargadores y si es necesario tener más de un tipo de conector.

Una vez se han identificado las posibles zonas y los tiempos promedio de recarga que ya se respondieron en las primeras dos preguntas, se analiza el consumo que estas recargas representan para la red y estimar cuánto requerimiento energético representan y cómo varían en el tiempo, tomando en cuenta los parámetros que tiene la red y el transformador y la forma de la curva de carga de la zona o el país.

Dado que ya se conocen las zonas de manera general, sus requerimientos de recarga (tipo de conector, modo de carga, cantidad de cargadores) y sus requerimientos energéticos es posible determinar lugares específicos del país para establecer centros de carga, tanto en el corto plazo como en función del crecimiento del parque vehicular.

## **8.5. Resultados esperados**

Se espera obtener una serie de lineamientos que permitan determinar las zonas más adecuadas para construir centros de carga en función de la demanda de vehículos eléctricos estimada y de acuerdo con las características de movilidad de los usuarios, estos lineamientos incluyen cantidad óptima de cargadores, tipos de carga, requerimientos de la red eléctrica y de los equipos

que deben instalarse para el control y protección de estos. Además, estimar la demanda de energía que el parque vehicular requerirá de los puntos de recarga públicos y determinar la incidencia que estos tienen en la curva de carga de la red y en los elementos de la línea a la cual se van a conectar. De manera indirecta se espera establecer en qué grado el desarrollo de puntos de carga públicos benefician la adopción de vehículos eléctricos para validar las proyecciones que se han realizado con anterioridad.

## **9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

### **9.1. Técnicas de análisis que se aplicarán**

Las entrevistas cara a cara que se realicen mediante un muestreo tipo bola de nieve permitirán obtener datos sobre preguntas específicas que determinan el estado actual, a corto, mediano y largo plazo de la movilidad eléctrica y de las estaciones de recarga, permitirá también conocer el criterio que los especialistas tienen sobre las ubicaciones de los puntos de recarga, la relación entre movilidad y puntos de recarga, la relación entre incentivos y adopción del EV, relación entre cantidad de vehículos y demanda de energía eléctrica, etc. Todos estos datos relacionales serán presentados a través de herramientas de estadística descriptiva como distribución de frecuencias (diagramas de pastel, histogramas), diagramas de Pareto, medidas de tendencia central, un resumen de estas se presenta en la tabla IV. Esta información se contrastará con estadísticas de otros países similares a Guatemala y con las tendencias que otros estudios han encontrado para el país, el fin de este análisis es determinar qué tanta divergencia hay entre los pronósticos estadísticos y los criterios profesionales.

Una vez se han establecido los datos más importantes o destacables y que se presentaron con estadística descriptiva se utilizarán herramientas de estadística inferencial para establecer las relaciones causales que se tienen fijadas como objetivos en el presente estudio como el crecimiento de la demanda producto de la instalación de puntos de recarga o la selección de la zona respecto a las variables establecidas, estas relaciones pueden observarse en la tabla IV.

También se utilizará una gráfica interés-poder para determinar los actores y factores que inciden en cómo crecerá el parque vehicular y determinar si estos actores incidirán positivamente, de manera neutral o de manera negativa. Las herramientas estadísticas que se utilizarán se resumen en la tabla IV.

Tabla IV. **Datos sujetos a análisis**

Dato	Relacionado con:	Tipo de análisis
Crecimiento del parque vehicular.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación de puntos de recarga pública.</li> <li>- Incentivos.</li> <li>- Innovación tecnológica.</li> <li>- Vehículos en el mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coeficientes de correlación.</li> <li>- Gráfica interés-poder.</li> <li>- Distribución de frecuencias</li> <li>- Prueba T</li> <li>- Chi cuadrado</li> <li>- Análisis de contenido.</li> </ul>
Demanda de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crecimiento del parque vehicular</li> <li>- Cantidad de puntos de recarga públicos.</li> <li>- Cantidad de cargadores en un punto de recarga.</li> <li>- Modo de carga</li> <li>- Tarifas especiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coeficientes de correlación.</li> <li>- Distribución de frecuencias.</li> <li>- Medidas de tendencia central.</li> </ul>
Instalación de puntos de recarga pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de vivienda más común.</li> <li>- Características de movilidad</li> <li>- Parámetros de la red.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribución muestral.</li> <li>- Distribución de frecuencias</li> <li>- Medidas de tendencia central</li> <li>- Medidas de variabilidad</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

## **9.2. Definición de las técnicas de análisis**

Se definen las herramientas estadísticas que se utilizarán en el análisis de los datos recabados.

### **9.2.1. Distribución de frecuencias**

Salazar y Del Castillo (2018) indican que “es una tabla estadística donde se presentan los datos resumidos, de tal manera que se puede en una visión panorámica establecer un criterio sobre su comportamiento” (p. 23). Esta herramienta se utilizará para presentar los datos recabados durante las entrevistas y definir cuáles características o fenómenos resaltan de los demás, será presentado tanto en tablas como en gráficos, “las distribuciones de frecuencia, especialmente cuando se utilizan porcentajes, pueden presentarse en forma de histogramas o gráficas de otro tipo (por ejemplo: de pastel)” (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014, p. 284). Salazar y Del Castillo (2018) indican que esta herramienta es útil para cualquier tipo de datos, nominales, ordinales, discretos y continuos por lo que todas las variables declaradas en la tabla II pueden ser analizadas de esta forma.

### **9.2.2. Medidas de tendencia central**

“Las medidas de tendencia central son puntos en una distribución obtenida, son los valores medios o centrales de ésta y ayudan a ubicarla dentro de la escala de medición de la variable analizada” (Sampieri et al., 2014, p. 286). Este análisis se utilizará para definir valores intermedios proveniente de varias fuentes para obtener los valores más representativos, también se utilizará para presentación de resultados indicando, por ejemplo, las zonas con mejores

indicadores para la instalación de puntos de carga. Se utilizarán las medidas de tendencia central que se definen a continuación, según Sampieri et al. (2014).

- La moda es la categoría o puntuación que ocurre con mayor frecuencia.
- La mediana es el valor que divide la distribución por la mitad.
- La media se define como el promedio aritmético de una distribución.

### **9.2.3. Medidas de variabilidad**

Según Sampieri et al. (2014) “indican la dispersión de los datos en la escala de medición de la variable considerada y responden a la pregunta ¿dónde están diseminadas las puntuaciones o los valores obtenidos”, las medidas de variabilidad que se utilizarán son las siguientes:

- Rango, que es la diferencia entre la puntuación mayor y la puntuación menor.
- Desviación estándar, que es el promedio de desviación de las puntuaciones con respecto a la media, se puede interpretar como cuánto se desvía, en promedio, de la media un conjunto de puntuaciones.

### **9.2.4. Distribución muestral**

La distribución muestral se utilizará para presentar los parámetros normales de una red eléctrica a la cual se añadirán cargas en diferentes horarios y en diferente medida y estimar la probabilidad de que estos puedan ser modificados ante distintos escenarios de recarga. La Distribución muestral es un conjunto de valores sobre una estadística calculada de todas las muestras posibles de determinado tamaño de una población, es posible relacionar una distribución muestral con la probabilidad de que un evento poco común ocurra”

(Sampieri et al., 2014), para el caso específico de la investigación se analizará la probabilidad de sobrecarga de la línea, la probabilidad de reducción de la calidad de la energía, entre otras en función de la demanda que podrían tener los puntos de recarga.

#### **9.2.5. Coeficiente de correlación de Pearson**

Es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables de medición o intervalos de razón (Sampieri et al., 2014), se utilizará para determinar si existe relación entre algunas variables del estudio con el fin de concluir si la existencia de una red eléctrica promueve la movilidad eléctrica o si lo hacen otras variables de estudio. También se utilizará para determinar relaciones causales y proponer ubicaciones convenientes para puntos de recarga.

#### **9.2.6. Prueba t**

Es una prueba para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medidas en una variable (Sampieri et al., 2014). Se utilizará esta prueba para cotejar las fuentes de información que se utilizarán para realizar el estudio.

#### **9.2.7. Gráfica interés-poder**

Una gráfica interés-poder permitirá analizar los actores que están involucrados en la movilidad eléctrica, empresas, asociaciones, autoridades de gobierno, programas internacionales, usuarios finales, etc. y determinar cómo es su incidencia en el desarrollo de una infraestructura de recarga pública con todo lo que ello implica, como estandarización, normativa, tarifas, entre otras.

### **9.2.8. Chi cuadrado**

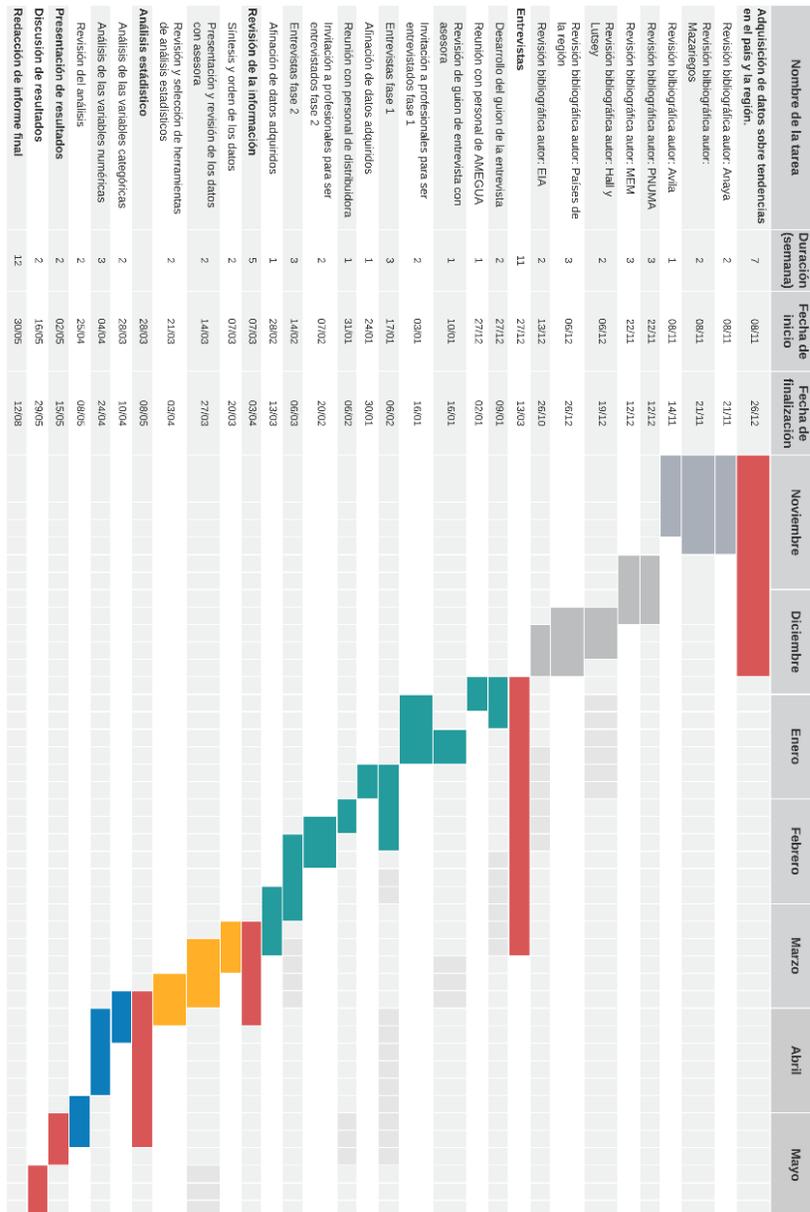
“Es una prueba estadística para evaluar hipótesis acerca de la relación entre dos variables categóricas, esta prueba no considera relaciones causales por lo que se utilizará para comparar variables categóricas” (Sampieri et al., 2014, p. 318), para su análisis se utilizará una tabla de contingencia o tabulación cruzada que es un cuadro de dos o más dimensiones y cada dimensión contiene una variable. A su vez, cada variable se subdivide en dos o más categorías. Las relaciones entre las variables categóricas se utilizarán para determinar relaciones como existencia de legislación a favor de los vehículos eléctricos y crecimiento de vehículos eléctricos, relación entre cantidad de puntos de recarga y crecimiento de vehículos eléctricos, tipo de economía y las variables anteriores. Esto se hará para determinar qué variables inciden en la adaptación de esta tecnología, es una herramienta que también permitirá sustentar las relaciones entre la zona, las características de movilidad y los puntos de recarga.

### **9.2.9. Análisis de contenido**

El análisis de contenido “es una técnica de investigación que pretende ser objetiva, sistemática y cuantitativa en el estudio del contenido manifiesto de la comunicación” (Berelson, citado por López, 2002, p. 173). para el caso del presente estudio, la comunicación de la cual se pretende extraer contenido es la entrevista que se realizará a diferentes profesionales. Krippendorff (1990) la define como “una técnica de investigación destinada a formular, a partir de ciertos datos, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a cualquier contexto” (p. 28).

# 10. CRONOGRAMA

Figura 8. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.



## 11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se presenta una serie de recursos que se consideran indispensables para el desarrollo de la investigación, estos incluyen acceso a herramientas tecnológicas, acceso a información, desplazamiento a sitios donde se obtendrá información práctica y teórica y el recurso humano que incluye tanto la asesoría formal y permanente como la asesoría externa de expertos en la materia que se desenvuelven laboral o académicamente en el campo que el estudio abarca y que eventualmente serán consultados. Dado que los recursos necesarios pueden ser cubiertos económicamente por el tesista, se considera que el estudio es factible.

Tabla V. **Tabla de recursos y su valor económico**

<b>Recursos necesarios</b>	<b>Valor económico estimado</b>	<b>Procedencia del financiamiento</b>
Asesoría profesional para el trabajo de investigación.	Q2500.00	Financiamiento propio
Acceso a artículos científicos	Q1500.00	Financiamiento propio
Desplazamiento a visitas de campo	Q500.00	Financiamiento propio
Software para análisis de plagio	Q200.00	Financiamiento propio
Software para elaboración de gráficas, diagramas de flujo y presentación de datos	Q200.00	Financiamiento propio
Uso de MS Project	Q240.00	Financiamiento propio
Asesoría profesional externa	Q2000.00	Financiamiento propio
Costos de papelería y procesos administrativos	Q500.00	Financiamiento propio
Acceso a cursos, seminarios y webinars.	Q600.00	Financiamiento propio
<b>Total</b>	<b>Q8240.00</b>	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.



## REFERENCIAS

1. Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (s. f.) *Carga de vehículos*. Recuperado el 16 de septiembre de 2021 de <https://movilidad.ute.com.uy/carga.html#>
2. Administrador del Mercado Mayorista (2021) *Capacidad Instalada en el sistema eléctrico nacional enero 2021*. Recuperado el 18 de septiembre de [https://www.amm.org.gt/portal/?page\\_id=145](https://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145)
3. Anaya, F. (2018) *Vehículos Eléctricos en Guatemala Análisis y propuesta de implementación*. Recuperado de: <http://www.olade.org/publicaciones/dto-2018-003-vehiculos-electricos-en-guatemala-analisis-de-impacto-y-propuesta-de-implementacion/>
4. Amadoz, S. (11 de julio de 2021) *La autonomía real de los coches eléctricos: 21 modelos a prueba*. Recuperado el 18 de septiembre de <https://motor.elpais.com/electricos/autonomia-real-coches-electricos/>
5. Arias, A. (2019) *Determinación de la ruta óptima de cada bus de la cooperativa de transporte Loja para obtener la máxima utilidad*. (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Machala.

6. Asociación de Movilidad Eléctrica de Guatemala (2021). *PepsiCo y Jac Motors, pioneros con camiones 100% eléctricos*. Boletín Amegua, Volumen 1, [p. 5]
7. Avila, E. (2021) *Aspectos Técnicos y Regulatorios a considerar en la incorporación masiva de vehículos eléctricos y su impacto al sistema nacional interconectado de Guatemala*. (Tesis de Maestría no publicada). Universidad San Carlos de Guatemala.
8. Bian, D., Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M. y Rahman, S. (2014) *Analysis of communication schemes for Advanced Metering Infrastructure (AMI) [Análisis de los esquemas de comunicación para infraestructura de medición avanzada (AMI)]*. IEEE PES General Meeting. doi: 10.1109/PESGM.2014.6939562
9. Carpio, B. y Llivicura, E. (2015) *Análisis del efecto de resonancia en los transformadores de pedestal hasta 250KVA trifásicos*. (Tesis de licenciatura) Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
10. Chambon, P. et al (2017) *Development of a range-extended electric vehicle powertrain for an integrated energy systems research printed utility vehicle [Desarrollo de sistema de propulsión de un vehículo eléctrico de rango extendido para un vehículo utilitario impreso de investigación de sistemas de energía integrados]*. Applied Energy. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.01.045.
11. Comisión Hacia la Resiliencia al Cambio Climático en Monteverde (s.f.) *Ruta eléctrica Monteverde*. Recuperado de <https://corclima.org/ruta-electrica-monteverde/>

12. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (1999) *Normas técnicas del servicio de distribución -NTSD-*. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/wp/normas-tecnicas/>
13. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (s.f.) *Pliegos Tarifarios*. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>
14. Dulcich, F., Otero, D y Canzian, A. (2019) *Evolución reciente y situación actual de la producción y difusión de vehículos eléctricos a nivel global y Latinoamérica*. Asian Journal of Latin American Studies. uri: <http://hdl.handle.net/11336/121829>
15. Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (s. f) *Guía de uso de la tarifa horaria y portal de consumo inteligente*. Recuperado de <https://eegsa.com/wp-content/uploads/2020/05/Gu%C3%ADa-Tarifa-Horaria-y-Medici%C3%B3n-Inteligente-EEGSA-1.pdf>
16. Fluchs, S. (2020) *The difusión of electric mobility in the European Union and beyond. [La difusión de la movilidad eléctrica en la Unión Europea y más allá]*. Transportation Research Part D: Transport and Environment. doi: 10.1016/j.trd.2020.102462
17. Frías, P. y De Miguel, C. (2019) *Aspectos Medioambientales del Vehículo Eléctrico*. Economía Industrial. uri: <http://hdl.handle.net/11531/36741>
18. Guille, C. y Gross, G (2009) *A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation [Un marco conceptual para la*

*implementación del vehículo-para-la-red (V2G)]. Energy Policy. doi: doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.053*

19. Goenaga, O (2020) *Instalaciones de recarga de vehículo eléctrico* [Webinar]. Circutor. <https://www.voltimum.es/circutor-instalaciones-recarga-vehiculo-electrico>
20. Hall, D. y Lutsey, N. (2020) *Electric vehicle charging guide for cities. [Guía para la carga de vehículos eléctricos en las ciudades]* Recuperado de: <https://theicct.org/publications/city-EV-charging-guide>
21. Hinestroza, O. (2014) *Formulación de un marco regulatorio para la integración óptima del vehículo eléctrico con el sector eléctrico y la movilidad urbana de Bogotá D.C.* (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Colombia.
22. Instituto Costarricense de Electricidad (2021) *Estaciones de carga eléctrica.* Recuperado el 15 de septiembre de 2021 de <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/electricidad/estaciones-de-carga>
23. International Renewable Energy Agency (2019) *Innovation landscape brief: Aggregators. [Informes sobre el panorama de la innovación: Aggregators]* Recuperado de <https://www.irena.org/publications/2020/Jul/Business-Models-Innovation-Landscape-briefs>
24. Iwan, S., Allesch, J., Celebi, D., Kijewska, K., Hoé, M., Klauenberg, J. y Zajicek, J. (2018) *Electric Mobility in European urban freight and*

*logistics - status and attempts of improvement. [Movilidad eléctrica en Europa, transporte urbano y logística – estado e intentos de mejora].* Transportation Research Procedia. doi: 10.1016/j.trpro.2019.06.013

25. Krippendorff, K. (1990) *Metodología de análisis de contenido teoría y práctica* [Traducido al español de Content Analysis. An introduction to its methodology]. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.
26. López, F. (2002) *El análisis de contenido como método de investigación.* Revista de educación, 4, [167-179]
27. Lucas, A., Bonavitacola, F., Kotsakis, E. y Fulli, G (2015) *Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging [Impacto de los armónicos en la red debido a la recarga rápida múltiple de vehículos eléctricos].* Electric Power Systems Research. doi: 10.1016/j.epsr.2015.05.012
28. Martin, P. (22 de julio de 2021) *Así es el calendario de los fabricantes para acabar con los motores de combustión.* Recuperado el 18 de septiembre de [https://www.elconfidencial.com/motor/industria/2021-07-22/automovil-combustion-electricos-emisiones-co2\\_3194856/](https://www.elconfidencial.com/motor/industria/2021-07-22/automovil-combustion-electricos-emisiones-co2_3194856/)
29. Mazariegos, E. (2021) *Evaluación de la matriz de generación, red de distribución y puntos de recarga para la implementación de electromovilidad en la ciudad de Guatemala* (Tesis de Maestría no publicada). Universidad San Carlos de Guatemala.

30. Mendoza, C., Quintero, A., Santamaria, F. y Alarcón, J. (2016) *Methodology to Manage Electric Vehicles Charging in Real-Time. [Metodología para gestionar carga de vehículos eléctricos en tiempo real]*. IEEE Latin America Transactions. doi: 10.1109/TLA.2016.7437223
31. Meza, J. y García, E. (2018) *Asignación de Recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicio basado en la respuesta a la demanda*. I+D Tecnológico. doi: <https://doi.org/10.33412/idt.v14.2.2075>
32. Ministerio de Ambiente y Energía (2021) *Vehículos Eléctricos en Costa Rica*. Recuperado el 15 de septiembre de 2021 de <https://energia.minae.go.cr/?p=5634>
33. Ministerio de Energía (2017) *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Recuperado el 20 de septiembre de 2021 de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/orientaciones-de-politicas-publicas>
34. Ministerio de Energía y Minas (2017a) *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2019-3032*. Recuperado de: <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/08.-Plan-Nacional-de-Eficiencia-Energetica.pdf>
35. Ministerio de Energía y Minas (2017b) *Plan Nacional de Energía 2017-2032*. Recuperado de: <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>

36. Ministerio de Energía y Minas (2019) *Política Energética 2019-2050*. Recuperado de: <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>
37. Miranda, J. e Iglesias, N. (2015) *Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico*. Observatorio Medioambiental. doi: 10.5209/rev\_OBMD.2015.v18.51285
38. Morro-Mello, I., Padilha-Feltrin, A. y Melo, J. (2017) *Spatial-Temporal Model to Estimate the Load Curves of Charging Stations for Electric Vehicles. [Modelo espacio-temporal para estimar la curva de carga de estaciones de carga para vehículos eléctricos]*. 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Latin America (ISGT Latin America) doi: 10.1109/ISGT-LA.2017.8126693
39. Peña, C. (2011) *Estudio de baterías para vehículos eléctricos* (Tesis de licenciatura) Universidad Carlos III de Madrid. uri: <http://hdl.handle.net/10016/11805>
40. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021) *Movilidad Eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe 4ta Edición*. Recuperado de: <https://movelatam.org/4ta-edicion/>
41. Ramírez, S. (2004) *Redes de distribución de energía*. 3a ed. Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales
42. Radhika, C. y Mallika, M. (2013) *Comparative Study on Various KERS [Estudio comparativo de varios KERS]* Proceedings of the World

Congress on Engineering 2013 Vol III. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/287401775\\_Comparative\\_study\\_on\\_various\\_KERS](https://www.researchgate.net/publication/287401775_Comparative_study_on_various_KERS)

43. Ros, J. y Barrera, O. (2017). *Vehículos eléctricos e Híbridos*. Madrid, España, Editorial Paraninfo.
44. Ruiz, M. y García, M. (2015) *Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/276917758\\_INTEROPERABILIDAD\\_ENTRE\\_MEDIDORES\\_INTELIGENTES\\_DE\\_ENERGI\\_A\\_ELECTRICA\\_RESIDENCIAL](https://www.researchgate.net/publication/276917758_INTEROPERABILIDAD_ENTRE_MEDIDORES_INTELIGENTES_DE_ENERGI_A_ELECTRICA_RESIDENCIAL)
45. Salazar, C. y Del Castillo, S. (2018) *Fundamentos básicos de estadística*. Quito: sin editorial.
46. Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* 6a. ed. México: McGRAW-HILL.
47. Silva, F. (2016). *Dinamo Técnica, Conducción, en condiciones reales de Galicia, de un vehículo eléctrico con autonomía extendida (REX)*. volumen 19. [p. 12-15]. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5828387>
48. Singh, R. et al (2021) *Handbook of Electric Vehicle Charging Infrastructure Implementation*. Recuperado de: <https://www.niti.gov.in/sites/default/files/2021-08/HandbookforEVChargingInfrastructureImplementation081221.pdf>

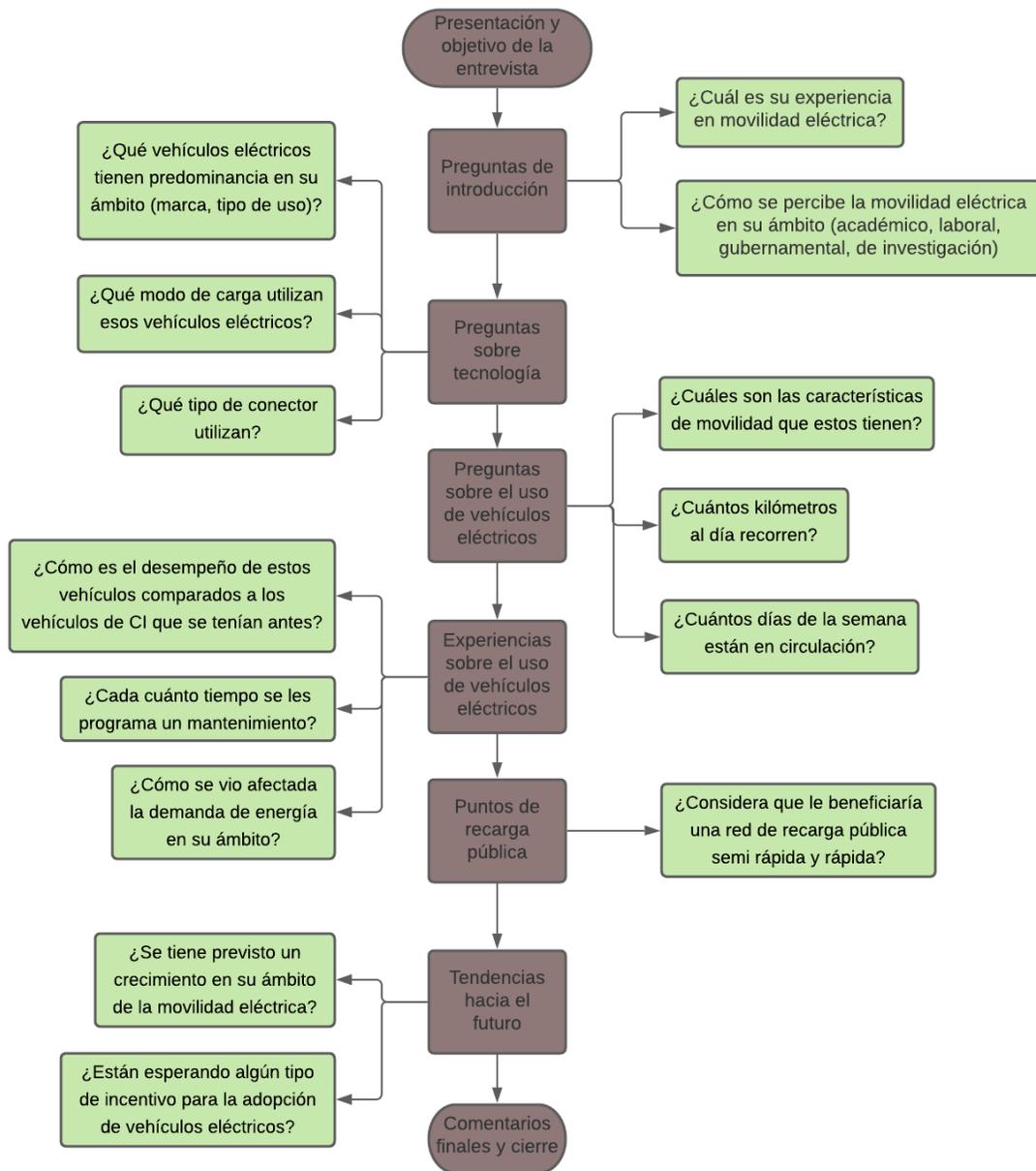
49. Slowik, P. y Lutsey, N. (2019) *The surge of electric vehicles in United States cities [El aumento de vehículos eléctricos en las ciudades de Estados Unidos]* The International Council On Clean Transportation. Recuperado de: <https://theicct.org/publications/surge-EVs-US-cities-2019>
50. Speed-adiction (17 de agosto de 2021). *Maxus EV30 100% eléctrico ¿Qué tal funciona en Latinoamérica?* [Archivo de Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=-zwbxmMkTzk&list=LL&index=3>
51. Superintendencia de administración tributaria (s.f.) *Estadísticas Tributarias*. Recuperado el 22 de octubre de 2021 de <https://portal.sat.gob.gt/portal/estadisticas-tributarias-sat/>
52. Torres, J. (2015) *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca* (Tesis de licenciatura) Universidad Politécnica Salesiana.
53. Vera, J., Clairand, J. y Álvarez, B. (2017) *Public Policies Proposals for the Deployment of Electric Vehicles in Ecuador. [Propuestas de políticas públicas para el despliegue de vehículos eléctricos en Ecuador]*. 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Latin America (ISGT Latin America) doi: 10.1109/ISGT-LA.2017.8126718
54. Vermont Energy Investment Corporation (2014) *Electric Vehicle Charging Station Guidebook Planning for Installation and Operation*. [Guía de planificación para instalación y operación de estaciones de carga]

de vehículos eléctricos]. Recuperado de:  
[https://www.ccrpcvt.org/wp-content/uploads/2016/01/20140626-  
EV-Charging-Station-Installation-Guide.pdf](https://www.ccrpcvt.org/wp-content/uploads/2016/01/20140626-EV-Charging-Station-Installation-Guide.pdf)

55. Wang, N., Pan, H. y Zheng, W. (2017) *Assessment of the incentives on electric vehicle promotion in China [Evaluación de los incentivos para la promoción de vehículos eléctricos en China]*. Transportation Research. doi: 10.1016/j.tra.2017.04.037
  
56. Zarazua, G., Noel, L., Kester, J., Sovacool, B (2019) *The market case for electric mobility: investigating electric vehicle business models for mass adoption. [El caso del mercado de la movilidad eléctrica: Investigando modelos de negocio de vehículos eléctricos para adopción en masa]*. Energy. doi: 10.1016/j.energy.2019.116841

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Estructura de entrevista a profesionales



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

Matriz de Coherencia					
Línea de investigación:					
Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica: Análisis e impactos de la innovación tecnológica.					
Título de la investigación.	Planteamiento del problema de investigación	Preguntas de Investigación	Objetivos	Metodología	Resultados esperados
<p>Estudio de la factibilidad técnica para el desarrollo de una infraestructura de carga vehicular de acceso público en Guatemala.</p>	<p>Inexistencia de una red de recarga vehicular suficientemente grande para propiciar la movilidad eléctrica en Guatemala.</p>	<p><b>Principal</b> ¿Cuáles son los requerimientos de red eléctrica y normativos para la construcción de un centro de carga vehicular de acceso público?</p> <p><b>Auxiliares</b> ¿Cuáles son los tipos y modos de carga que se requieren para la carga de vehículos eléctricos?</p> <p>¿Qué tipos de infraestructura de carga se requieren para los tipos y modos de carga establecidos y cuáles son los costos asociados a su construcción y mantenimiento?</p> <p>¿Qué escenarios de demanda de energía eléctrica se pueden presentar ante la probabilidad de distintos requerimientos de carga a lo largo del día?</p> <p>¿Cuáles son las variables que indican la zona más adecuada para la instalación de un centro de carga vehicular en función de la demanda de energía eléctrica y los parámetros de la red?</p>	<p><b>General</b> Determinar los requerimientos de la red eléctrica y normativos de construcción de un centro de carga de vehículos eléctricos de acceso público.</p> <p><b>Específicos</b> Establecer los modos de carga y tipo de conector que se requiere para una red de recarga vehicular pública aplicado al mercado presente y futuro de Guatemala.</p> <p>Determinar el tipo de infraestructura de carga adecuado a las necesidades establecidas en función del modo y tipo de carga y calcular los costos asociados a su construcción y mantenimiento.</p> <p>Estimar la demanda de energía eléctrica que se puede presentar ante un día ante distintos requerimientos de carga vehicular.</p> <p>Determinar las variables que indican la zona más adecuada para la instalación de un centro de carga vehicular en función de la demanda de energía y los parámetros de la red.</p>	<p>Determinar cuáles son las tecnologías presentes y futuras en el mercado a nivel global y en Guatemala para calcular un máximo de demanda y los dispositivos que se requieren para control y operación de un punto de carga.</p> <p>Se hará un sondeo de las tecnologías presentes en el mercado guatemalteco y cuál es la tendencia para definir si habrá o no una estandarización.</p> <p>Determinar la cantidad óptima de cargadores y puntos de carga que requiere el país en función del crecimiento de vehículos eléctricos y analizando las tendencias de países de la región y las tendencias de crecimiento que se han hecho para Guatemala.</p> <p>Una vez se tiene la cantidad de puntos de carga y el número de cargadores propuesto por cada punto se calculará una demanda de energía proyectada.</p> <p>Uso de herramientas estadísticas para establecer relación entre variables que permita determinar zonas idóneas.</p>	<p>Establecer un listado indicativo de los requerimientos que deben cumplirse para instalar un punto de recarga vehicular tomando en cuenta normativa vigente y los parámetros de la red de distribución a la que se realizará la conexión.</p> <p>Establecer los modos de carga y tipo de conector que se requieren para puntos de recarga vehicular pública en función de las necesidades del mercado presente y futuro.</p> <p>Determinar los tipos de infraestructura de recarga que el país necesita en sus diferentes ciudades y departamentos.</p> <p>Una estimación de la demanda de energía eléctrica que el país tendrá debido a puntos de recarga pública y la forma en la que altera la curva de carga y la matriz energética.</p> <p>Un listado que relacione las variables que definen la zona óptima para ubicar un punto de recarga.</p>

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.