



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE UNIDADES DE
TRANSPORTE PÚBLICO ELÉCTRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Frank Fernando Alonzo Hernández

Asesorado por el M.A. Ing. Axel Ernesto Siguí Gil

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE UNIDADES DE TRANSPORTE PÚBLICO ELÉCTRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FRANK FERNANDO ALONZO HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL M.A. ING. AXEL ERNESTO SIGUÍ GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. 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 Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
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 ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE UNIDADES DE TRANSPORTE PÚBLICO ELÉCTRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 25 de octubre de 2021.

Frank Fernando Alonzo Hernández



EEPFI-PP-0022-2022

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: **ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE UNIDADES DE TRANSPORTE PÚBLICO ELÉCTRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y Políticas Energéticas Ambientales - Formulación, Gestión, Seguimiento y Evaluación de Proyectos Energéticos - Preparación, formulación y evaluación de proyectos**, presentado por el estudiante **Frank Fernando Alonzo Hernández** carné número **201403993**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

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

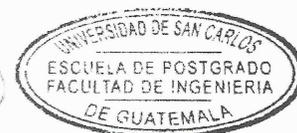
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Axel Ernesto Siguí Gil
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 14867

Mtro. Axel Ernesto Siguí Gil
Asesor(a)

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



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





EPP-EIME-0022-2022

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: **ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE UNIDADES DE TRANSPORTE PÚBLICO ELÉCTRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Frank Fernando Alonzo Hernández**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.229.2022

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 ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE UNIDADES DE TRANSPORTE PÚBLICO ELÉCTRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Frank Fernando Alonzo Hernández**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova 

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi camino y permitirme llegar a cumplir una más de mis metas.
Mis padres	Por apoyarme en cada momento y haberme guiado en este proceso.
Mis hermanos	Ingrid, Paola y Diego Alonzo Hernández, por su apoyo y compañía.
Mi novia	Sofía Saravia, por apoyarme en todo momento
Familia y amigos	

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mis amigos	Por haberme acompañado durante la carrera.
Familia y amigos en general	

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Transporte Público (TP).....	19
7.1.1. Sistema de transporte público	19
7.1.2. Calidad del transporte público	20
7.1.3. Tipos.....	20
7.1.3.1. Transporte colectivo	20

	7.1.3.1.1.	Transporte BRT.....	21
	7.1.3.1.2.	Buses convencionales .	21
	7.1.3.2.	Taxis.....	21
	7.1.3.3.	Bicicletas	22
	7.1.3.4.	Uber	22
7.2.		Transporte público en Guatemala	23
	7.2.1.	Rutas Transmetro.....	23
	7.2.2.	Tecnología empleada.....	26
7.3.		Transporte público eléctrico	26
	7.3.1.	Tipos	26
	7.3.1.1.	Metro	27
	7.3.1.2.	Tren.....	27
	7.3.1.3.	Tranvía	27
	7.3.1.4.	Unidades de transporte público eléctrico	27
7.4.		Matriz energética.....	28
	7.4.1.	Cuadro institucional.....	28
	7.4.1.1.	MEM.....	28
	7.4.1.2.	CNEE	29
	7.4.1.3.	AMM.....	29
	7.4.2.	Capacidad instalada	29
	7.4.2.1.	Demanda máxima	30
	7.4.3.	Generación total	30
	7.4.3.1.	Generación fuentes renovables.....	31
	7.4.3.2.	Generación fuentes no renovables.....	32
7.5.		Balance energético.....	32
	7.5.1.	Energía primaria.....	33
	7.5.2.	Energía secundaria	33
7.6.		AMEGUA.....	34

7.7.	GEI	34
7.7.1.	Cambio climático	35
7.7.2.	Estimación de GEI	35
7.7.2.1.	Sector energía	35
7.7.2.2.	Sector transporte	37
7.7.3.	Estrategia de desarrollo con bajas emisiones (Guatemala).....	38
7.7.3.1.	Línea base.....	38
7.7.3.1.1.	Sector energía.....	39
7.7.3.1.2.	Sector transporte	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Características del estudio	47
9.2.	Unidades de análisis	48
9.3.	Variables.....	48
9.4.	Fases del estudio	49
9.4.1.	Fase 1: Revisión de la literatura	49
9.4.2.	Fase 2: Descripción de las unidades en Guatemala	49
9.4.3.	Fase 3: Recopilación de información de buses eléctricos y cambio en la matriz energética	50
9.4.4.	Fase 4: Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero	50
9.4.5.	Fase 5: Análisis e interpretación de la información	51
9.5.	Resultados esperados.....	51

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
11.	CRONOGRAMA	55
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	57
12.1.	Recurso humano.....	57
12.2.	Recurso tecnológico.....	57
12.3.	Recurso de equipo de cómputo	57
12.4.	Recurso de acceso a la información	58
12.5.	Recurso financiero	58
13.	REFERENCIAS	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Rutas del Transmetro.....	25
2.	Generación de energía.....	30
3.	Generación de energía eléctrica período 08/08/2021 a 19/09/2021	31
4.	Línea base multisectorial de emisiones de GEI	39
5.	Línea base de emisiones GEI del sector energía.....	40
6.	Línea base de emisiones de GEI sector transporte	41

TABLAS

I.	Rutas del Transmetro.....	24
II.	Consumo de energéticos sectorizado año 2019	33
III.	Coeficientes de emisión de generación eléctrica	36
IV.	Estimación de emisiones de GEI para autobuses.....	37
V.	Variables	48
VI.	Características de unidades de tp convencional	49
VII.	Características de las unidades de tp eléctrico	50
VIII.	Emisiones estimadas por tp convencional y generación de energía	51
IX.	Cronograma de ejecución	55
X.	Recursos financieros para la investigación	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CO₂	Dióxido de carbono
CO_{2e}	Dióxido de carbono equivalente
h	Horas
kBEP	Kilo barriles equivalentes de petróleo
Km	Kilómetro
KW	Kilovatio
KV	Kilovoltio
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
P	Potencia
Q	Quetzales
TP	Transporte público
W	Vatio
VE	Vehículo eléctrico

GLOSARIO

AMEGUA	Asociación de Movilidad Eléctrica de Guatemala.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
Vatio	Unidad de medida de potencia.

RESUMEN

En el diseño de investigación se manifestará el contexto general de la utilización de unidades de transporte público eléctrico como alternativa para la mitigación de emisiones de gases en la Ciudad de Guatemala. Este diseño está enfocado en informar y determinar qué tipo de tecnología se puede utilizar en las unidades de transporte público para que sean más eficientes y tengan un cambio significativo respecto a las emisiones de gases contaminantes que estas liberan.

La orientación que tienen los objetivos es la identificación y análisis del cambio que produciría utilizar las unidades eléctricas del transporte público a través de análisis estadístico y en comparativa con las unidades de transporte público convencionales. Así también, qué cambio tendría la matriz energética una vez introducidas las unidades eléctricas.

La metodología propuesta a través de las fases del diseño de investigación busca obtener los resultados de la comparativa energética y estimación de gases de efecto invernadero sobre las unidades de transporte público convencional y la generación de energía para alimentar a las unidades eléctricas mediante la estadística descriptiva e inferencial, específicamente el análisis de pruebas de medias y series de tiempo.

A partir de ello, los resultados esperados en el diseño de investigación representan que la utilización de las unidades de transporte público eléctrico es la alternativa para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero ante las unidades que se utilizan actualmente.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte público en Guatemala ha sido utilizado por más de 50 años, debido a la necesidad de los pobladores guatemaltecos de movilizarse de un punto a otro. Hoy en día miles de personas se movilizan a través de este sistema de transporte ya que se cuentan con distintas rutas en toda la ciudad capital. De estas rutas las unidades de transporte público en mejor estado son aquellas que brinda el servicio la municipalidad de Guatemala.

Sin embargo, a través de la utilización y desgaste de este sistema, las unidades van perdiendo su eficiencia y se convierten en unidades obsoletas al pasar los años, esto evidencia una falta de preocupación por brindar un buen servicio y establecer una regulación respecto al tema de mantenimientos y las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por estas.

Existen nuevas tecnologías más eficientes y con menor tendencia de emisiones de gases de efecto invernadero como lo son las unidades eléctricas, esta tecnología ha revolucionado el mundo por su eficiencia. Al momento de hacerse los mantenimientos representan un menor costo, ya que requieren más tiempo entre uno y otro. Además, de presentar mejoras en las piezas utilizadas.

La investigación tiene el propósito de analizar qué tecnología es conveniente a utilizar en las unidades de transporte público en la ciudad de Guatemala. El esquema de solución de la presente investigación será a través del análisis de estimación de las emisiones generadas por las unidades de transporte público actual y la generación de energía necesaria para alimentar a

unidades de transporte público eléctrico utilizando herramientas estadísticas como las series de tiempo, medidas de tendencia central y pruebas de medias.

Por consiguiente, realizar la presente investigación y el análisis estadístico de esta, tomará una cantidad de recursos. Estos recursos son parte esencial para la determinación de la factibilidad del estudio. El enfoque se tiene en los recursos humanos, tecnológicos, financieros, infraestructura y permisos. Por tanto, la investigación es factible, ya que se cuenta con el recurso humano, como investigador y asesor; el recurso tecnológico, con el equipo de cómputo necesario y programas estadísticos de libre acceso; el recurso financiero propiciado por el investigador; los permisos y acceso a la información, por ser información pública.

Así también, se desarrolló un marco teórico de la investigación con el fin de proveer la información necesaria para plasmar la evidencia de acuerdo a las variables principales de la misma. De esta manera, la elaboración de la metodología está ligada a la teoría y se representa en varias fases para desarrollar de una manera eficaz el análisis de la información. Las fases de la metodología concatenan toda la información para realizar el análisis estadístico y profesional. Al concluir el desarrollo de las fases de la metodología, se hará el análisis correspondiente para determinar los resultados finales.

Guatemala está impulsando el uso de las nuevas tecnologías, más eficientes, con un esquema de ahorro energético y amigables al ambiente. De darse esta transición, generaría un avance hacia el desarrollo sostenible. Además, Guatemala forma parte de varias iniciativas internacionales contra el cambio climático.

2. ANTECEDENTES

Perrone (2020) en su investigación titulada Electromovilidad y marco normativo: Análisis actual de la movilidad eléctrica como una alternativa en el transporte público para mitigación del cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito propone que se puede reducir todas estas emisiones a través de un transporte público eficiente, como lo es el eléctrico.

La investigación responde a la pregunta, “¿En qué medida el marco normativo existente permite implementar un sistema de movilidad eléctrica en el transporte público del distrito metropolitano de Quito, como una medida de mitigación al cambio climático?” (Perrone, 2020, p. 1). La autora analiza la alternativa de buses eléctricos para hacerle frente al cambio climático y reducir los GEI. El proceso de la investigación es una alternativa, que se dio de forma integral, para desarrollar paso a paso los estudios necesarios para la utilización de estos.

Juárez, Castellanos y Fuentes (2019), indican en su investigación Emisiones históricas de gases de efecto invernadero y sus tendencias, que el balance neto nacional, representa un 9 % anual de estas emisiones. Según los inventarios realizados en los años noventa e inicios de los dos mil, las emisiones en Guatemala tuvieron un aumento considerable, siendo este una diferencia de 13.3 millones de toneladas de CO₂.

Para el año 2050, las proyecciones muestran una tendencia de aumento en las emisiones a mediano y largo plazo. A su vez, los autores identificaron que el transporte de personas es la causa principal de emisiones de GEI. Además, la

quemado que se da de los combustibles por el transporte, la mayoría del tiempo no es regulada.

Según Hidalgo (2005) afirma que las alternativas de transporte están sujetas a determinadas condiciones y por ello no hay una respuesta definitiva al respecto. En su evaluación denominada comparación de alternativas de transporte público masivo - una aproximación conceptual, indica de forma conceptual la alternativa de transporte público. Siendo las opciones en la Ciudad de Bogotá, el tren y el transporte masivo en buses (TRMB). Referente a ello, hace el análisis beneficio-costos, explica las características y concluye que se debe evaluar las posibilidades a futuro.

En el libro Energías alternativas: Solución para el desarrollo sustentable de Cabello (2006) nos indica que “todas las fuentes de energía que puedan explotarse generan algún efecto en el medio ambiente, sin embargo, las energías alternativas como lo es la energía hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa generan un mínimo efecto ya que estas están integradas al entorno” (p.12). También, concluye que la disposición de estas energías está atada a las condiciones del espacio o área.

Anaya (2018), propone en el documento de trabajo de la OLADE, Vehículos eléctricos en Guatemala, análisis de impacto y propuesta de implementación, cuatro opciones para que los VE en el país sean introducidos en el mercado. Tomó en cuenta datos de diferentes instituciones gubernamentales para realizar un análisis estadístico con el propósito de hacer proyecciones y observar el beneficio de la adquisición e implementación de VE particulares sobre los vehículos alimentados por combustibles fósiles.

Para Paredes (2019), el objetivo de análisis en su artículo denominado Electromovilidad y eficiencia energética en el transporte público de pasajeros del Ecuador Continental, fue tomar desde un enfoque de eficiencia energética, los beneficios con el cambio de transportación masiva de pasajeros convencional a un sistema de autobuses eléctricos. Además, realizó la comparación en términos de consumo de energía y medidas de eficiencia energética con condiciones hipotéticas actuales del servicio de transporte para sus actividades diarias. Concluyó que la rentabilidad de utilizar un sistema de autobuses eléctricos es efectiva y genera una eficiencia energética mayor a los sistemas de transporte alimentados por combustibles fósiles.

Ceballos, Caicedo y Ospina (2016), en su investigación Una propuesta metodológica para dimensionar el impacto de los vehículos eléctricos sobre la red eléctrica, tomaron como referencia los VE utilizados en Colombia, Chile y España para hacer el estudio y así, observar la interacción de estos sobre la red de electricidad de cada país. En la investigación, se estableció los circuitos afectados y cómo los VE tienen un impacto en la calidad de la energía. Además de realizar simulaciones mediante el programa o herramienta MATLAB. Teniendo como resultado series de etapas relacionadas con modelos eléctricos para determinar de una forma metódica y sistemática los distintos modos de transporte eléctrico.

Saka, Tamblay y Gschwender (2021) en su artículo titulado Electromovilidad en el transporte público: La experiencia de Santiago de Chile, indican que en esta ciudad los buses eléctricos son un nuevo modelo de negocio, en el que se destaca la comodidad y la experiencia de usuario. Estos buses han impactado de forma positiva en general. En el 2019 se incorporaron buses eléctricos, los cuales son alimentados por baterías y diésel, con lo que se logró incorporar un nuevo estándar de calidad, como lo es Euro VI y la accesibilidad

universal y seguridad. Se espera avanzar con esta tecnología en otras ciudades. Los autores de la investigación, en último plano, emiten interrogantes sobre todas las nuevas tecnologías que podrían introducirse y cambiar la forma de ver el transporte.

Atabani, Badruddin, Mekhilef y Silitonga (2011) indican en Una revisión de las normas, las etiquetas y las tecnologías mundiales de ahorro de combustible en el transporte, que hay estrategias para hacer más eficiente los motores de los vehículos convencionales, en específico, la inyección del combustible. Concluyeron que de la misma forma que se ha venido investigando la alternativa del transporte eléctrico, el diseño en los motores y cada compañía que los realiza, toman en consideración la tecnología empleada, la transmisión y la mejora en el diseño de los anillos del motor.

Las investigaciones anteriores dan una base teórica concreta para poder realizar la investigación y determinar la metodología a utilizar, es decir, de esta manera, se tiene un pilar para concretar de manera exitosa la investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Descripción del problema

A inicios del siglo XX comenzó a dar servicio el transporte público en la Ciudad de Guatemala, con una única ruta que iba desde el Calvario y el Guardia Viejo por la calle de la Libertad, hoy en día, la avenida Bolívar. Para el año 1927 se estableció un transporte más formal con la empresa EGA (Empresa guatemalteca de autobuses) que durante los años fue creciendo por la necesidad de las personas de trasladarse de un punto a otro.

Miles de personas utilizan el transporte público a diario desde hace más de 50 años. Ya que Guatemala es un país en vías de desarrollo, el transporte público representa un servicio básico y necesario. En sus inicios, las rutas eran limitadas. Las opciones hoy en día en el área metropolitana son 55 rutas de unidades rojas, 12 rutas de unidades azules y 13 rutas de unidades articuladas de la Municipalidad de Guatemala. En estas rutas, las unidades son alimentadas por combustibles fósiles, esto quiere decir que en su mayoría utilizan diésel, lo que representa emisiones de gases de efecto invernadero considerables.

El transporte es uno de los causantes de las mayores emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo. Guatemala también aporta a este hecho. A pesar de que no sea uno de los países que más emisiones de gases produce, es más vulnerable al cambio climático. Según el plan de acción inmediata se promueve y divulga las medidas a tomar como parte de la mitigación de los gases de efecto invernadero y así mismo la Ley Marco para la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la

mitigación de gases de efecto invernadero establece en su artículo 21 que se propondrán incentivos fiscales y subsidios con enfoque en energías limpias para el transporte público y privado.

La política energética de Guatemala 2019 – 2050, hace referencia en sus ejes de acción a un desarrollo sostenible en el cual se toma el compromiso social de las personas con las futuras generaciones para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. También consideran impulsar la transición energética del consumo de diésel y gasolina al uso de electricidad como fuente de energía más limpia y amigable con el ambiente para distancias cortas y medias en los vehículos.

- Pregunta central

¿Genera un cambio la utilización de unidades de transporte público eléctrico para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Guatemala?

- Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Son eficientes las unidades de transporte público actuales en la Ciudad de Guatemala?
- ¿Qué cambio en la matriz energética representa la utilización de unidades de transporte público eléctrico en la Ciudad de Guatemala?

- ¿Cuántas emisiones son generadas por las unidades de transporte público y la generación de energía eléctrica para alimentar a las unidades de transporte público eléctrico en la Ciudad de Guatemala?
 - ¿Existe una diferencia significativa entre la cantidad de emisiones generadas de gases de efecto invernadero por las unidades de transporte público actual respecto a las generadas para alimentar a las unidades de transporte público eléctrico en la Ciudad de Guatemala?
- Delimitación del problema

En los últimos años, en la Ciudad de Guatemala, se ha identificado como negligencia el permitir que continúe la contaminación del aire causada por la circulación de las unidades de transporte público en pésimo estado, unidades que a su vez son poco eficientes. Esta negligencia es evidente en el poco interés por darles mantenimiento y así poder brindar un buen servicio a la población en general. Por ello, el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero que generan estas unidades repercute de manera negativa al ambiente.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Genera un cambio la utilización de unidades de transporte público eléctrico para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Guatemala?

4. JUSTIFICACIÓN

El transporte público es un servicio básico utilizado por una gran cantidad de personas en Guatemala, por lo que se busca tener una mejora continua para brindar un servicio de calidad y así poder satisfacer la necesidad de movilización de un punto a otro.

Partiendo desde las líneas de investigación de gestión y uso eficiente de la energía, medidas de mitigación y medidas de mejora continua, el propósito de la investigación es analizar el uso de unidades de transporte público eléctrico como alternativa para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a través de la estimación de estos, debido a la generación de energía eléctrica y transporte público actual y, a su vez, inferir qué unidades de transporte público, al ser utilizadas, representan la mejor opción .

Estamos en una época de transición en donde se busca que las soluciones a los problemas sean amigables con el ambiente y sean eficientes, por lo que, se debe analizar la utilización de nuevas tecnologías que brinden esas soluciones. Estas unidades serían más eficientes y beneficiarían a la población guatemalteca al ser más amigables con el ambiente y brindar un servicio de calidad.

Obtener un resultado de este análisis es de gran importancia, puesto que, el producto práctico no se ha analizado particularmente por parte de las instituciones guatemaltecas, siendo este de relevancia energética y ambiental. La maestría, al encontrarse en un marco de energía y ambiente, involucra el análisis profesional, estadístico y energético; permite buscar la mejor alternativa de unidades de transporte público a utilizar.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar el efecto de la utilización de unidades de transporte público eléctrico para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la Ciudad de Guatemala.

5.2. Específicos

- Describir la tecnología empleada de las unidades de transporte público utilizado en la Ciudad de Guatemala.
- Determinar el cambio en la matriz energética al utilizar las unidades de transporte público eléctricas a través de su consumo energético.
- Estimar las emisiones generadas por las unidades de transporte público actuales y generación de energía para unidades eléctricas mediante el ajuste de la información pública al ámbito guatemalteco para generar datos que se ajusten a la realidad del país.
- Inferir a través de pruebas de medias si existe una diferencia significativa entre las emisiones producidas por las unidades de transporte público actuales y la generación de la energía necesaria para las unidades transporte público eléctricas.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A través del análisis de la utilización de unidades de transporte eléctrico para la reducción de gases de efecto invernadero, se quiere llegar a determinar si es conveniente el cambio por las unidades que actualmente circulan dentro de la Ciudad de Guatemala.

El trabajar con este proyecto representa una oportunidad a las nuevas tecnologías, para poder introducirse en un país en vías de desarrollo como lo es Guatemala y determinar si es una alternativa considerable desde el punto de vista ambiental y energético. Así también, poder evaluar si existe una mitigación considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte.

Se puede realizar analizando la tecnología empleada actual de las unidades de transporte público utilizada, según su eficiencia y consumo energético por tipo de combustible. Por otro lado, se determinarán las unidades eléctricas de referencia, para luego observar el cambio que se generará en la matriz energética del subsector eléctrico de Guatemala por el consumo energético de las unidades eléctricas consideradas.

Luego de la descripción de la tecnología empleada de las unidades actuales y el proceso de obtención de las referencias de unidades eléctricas y determinar el cambio en la matriz energética, se estimarán las emisiones producidas por la generación de energía y las producidas por las unidades de transporte público actuales.

Para terminar, se hará el análisis estadístico en el que se representa la obtención de datos de la información pública de las emisiones producidas de la generación de energía no renovable y las emisiones causadas por el transporte público utilizado convencionalmente, para luego compararlo según el análisis estadístico de pruebas de medias y esperar a obtener una diferencia significativa en los resultados.

La utilización de nuevas tecnologías para suplir las necesidades de los habitantes guatemaltecos es cada vez más inminente. A pesar de ser un país en vías de desarrollo, Guatemala prevé un cambio a futuro. El transporte público actualmente carece de esa tecnología moderna y no se le ha dado una continuidad de mejora. Por ello, el estudio abarca la necesidad de un servicio público eficiente y de calidad en el ámbito nacional.

Por otro lado, existe la contaminación del aire por la utilización de unidades de transporte público en mal estado y poco eficiente. La necesidad de mitigar los gases que estos producen es una tarea para tener en cuenta.

A través de un análisis estadístico comparativo de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el transporte público actual y las emisiones producidas por la generación de energía eléctrica, según el consumo de las unidades eléctricas, se llegará a determinar si es preferible continuar con el transporte actual o introducir unidades eléctricas. Esto tiene una validez técnica para el marco de la práctica profesional en el ámbito de la maestría puesto que dicho análisis representa la utilización de herramientas de estadística descriptiva.

El estudio y análisis de la introducción de nuevas tecnologías en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría se considera original, puesto que, es algo innovador para el país, se utilizan recursos con eficiencia energética

y representa un paso hacia el desarrollo sostenible al mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

La pertinencia que tiene la investigación en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría es la búsqueda de un desarrollo sostenible a través de la utilización de tecnologías que lo permitan y el uso eficiente de la energía. De modo similar, el esquema de mitigación de los gases de efecto invernadero producidas por el transporte público.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Transporte Público (TP)

El ser humano ha hecho uso del transporte desde un tiempo atrás para cubrir la necesidad de moverse. A menudo la gente utiliza el transporte terrestre ya que, es el transporte que entra en la posibilidad de cualquier persona.

“El transporte público es un sistema integral de medios de transporte de uso generalizado, capaz de dar solución a las necesidades de desplazamientos de las personas. El transporte público se basa fundamentalmente en criterios de solidaridad” (FACUA, 2007, p. 2).

Las necesidades de las personas por moverse de un punto a otro conllevan el uso de los medios de transporte. El transporte público es la herramienta de muchas personas para lograr esa movilización. Por lo que, se ha utilizado desde hace más de 60 años.

7.1.1. Sistema de transporte público

Para Farías (2012), este es aquel que es ocupado para el traslado de personas o bienes de un punto a otro. Se requiere de distintos elementos tales como la infraestructura, la unidad de transporte, un operador de esta unidad de transporte y servicios que permitan que esta actividad se realice de forma segura. A su vez, indica que existen dos tipos de transporte, el de carga y el de pasajeros.

7.1.2. Calidad del transporte público

Para satisfacer la necesidad de transporte de la gente, se ha desarrollado el servicio público de movilización a nivel mundial. Según Celi (2018), “cuando se logra ofrecer un transporte público de alta calidad y de acceso a toda la sociedad, se puede proceder a la promoción de medios de transporte más limpios y a políticas que promuevan el uso de transporte público” (p. 13).

En este sentido no solo se busca promocionar las políticas que restringen el uso de automóviles particulares, sino que se enfoca en un transporte público eficiente y de alta calidad que promueva la movilidad sostenible. Concluyendo que, el uso de este medio sería el indicado y generaría el fomento de que más personas tomaran este servicio (Celi, 2018).

Por otro lado, FACUA (2007) indica que la calidad que se tiene en el transporte público en alguna ciudad forma parte del compromiso de las autoridades, estas a su vez deben velar por la calendarización, horarios y servicio como tal. De esta manera se abastecen las necesidades de las personas y se crea un ambiente integral del buen servicio.

7.1.3. Tipos

Alrededor del mundo existen varios tipos de transporte público, esto con el fin de adecuarse a las necesidades que requieren las personas.

7.1.3.1. Transporte colectivo

El transporte público colectivo es el más utilizado por las personas, debe considerarse que es el de menor costo y brinda un servicio de calidad.

7.1.3.1.1. Transporte BRT

Según Rodríguez y Vergel (2013), “las ciudades de América Latina han liderado la implementación de sistemas de transporte público masivo de autobuses tipo BRT (llamados así por sus siglas en inglés por *bus rapid transit*)” (p. 16).

“Se caracteriza por el desarrollo de infraestructura que dan prioridad al transporte público en relación con el transporte en otros tipos de vehículos, ofrece la posibilidad de pagar la tarifa antes de tomar el autobús y permite un rápido acceso” (Rodríguez y Vergel, 2013, p. 16).

De esta manera, los servicios de BRT (*bus rapid transit*) son una herramienta del proceso del desarrollo humano.

7.1.3.1.2. Buses convencionales

Son vehículos de motor con una capacidad de más de 30 personas. Para FACUA (2007), son medios de movilización que las personas utilizan para alejarse del estrés que genera el automóvil. A su vez, siguen siendo utilizados en América Latina y otras partes del mundo.

7.1.3.2. Taxis

El servicio de transporte público de taxi representa un modelo de alquiler, esto quiere decir, según Molinero y Sánchez (2002) que se crea una forma ideal para todo público ya que proporciona comodidad, calidad y un mayor rendimiento como tal.

En la Ciudad de Guatemala, el servicio de taxis representa una alternativa para las personas cuya capacidad económica sea correspondiente, ya que al ser un modelo de alquiler, el cliente debe ajustarse a las tarifas del vendedor o conductor del automóvil.

7.1.3.3. Bicicletas

El uso de las bicicletas como medio de transporte público individual es una de las alternativas propuestas por varios países y según Pérez (2013) en el contexto que se tiene sobre la movilidad individual, este es uno de los que gestiona el tiempo y representa una mitigación a la contaminación, y con ello se ayuda al ambiente.

En ciertos sectores de la ciudad de Guatemala se cuenta con ciclovías. Este proyecto es una iniciativa de la Municipalidad de Guatemala, en la que cientos de personas lo utilizan a diario para movilizarse de una forma eficiente. Además, incluye beneficios para el ambiente, la salud y sobre todo tiempo.

7.1.3.4. Uber

Este es un sistema de transporte de alquiler al igual que los taxis, sin embargo, los usuarios de este transporte se comunican con el socio conductor a través de la aplicación para pedir que lleguen a la ubicación y así también, agregar el destino de llegada. Este medio de transporte ha sido aceptado alrededor del mundo por la seguridad y servicio que brinda.

7.2. Transporte público en Guatemala

En la ciudad de Guatemala el transporte público es de los servicios más utilizados por la población. Las alternativas utilizadas por los guatemaltecos son los buses convencionales rojos, azules, taxis y los articulados por parte de la Municipalidad de Guatemala también considerado como un sistema de transporte BRT.

Por otro lado, según la capacidad y necesidad de las personas utilizan lo que es el transporte público de alquiler como son los taxis y mototaxis. También es utilizado en menor cantidad las bicicletas puesto que representan un alto riesgo ya que no se cuentan con ciclovías especiales para poder transitar por la ciudad.

La Municipalidad de Guatemala implementó el Transmetro en el año 2007. Díaz (2008) indica que el cambio de los buses antiguos al sistema de Transmetro fue algo dramático. Se espera mejorar la calidad de vida de las personas por medio de la mejora del sistema público de movilización Así también, este sistema BRT guatemalteco moviliza a 150,000 personas y realiza 350,000 viajes diarios.

7.2.1. Rutas Transmetro

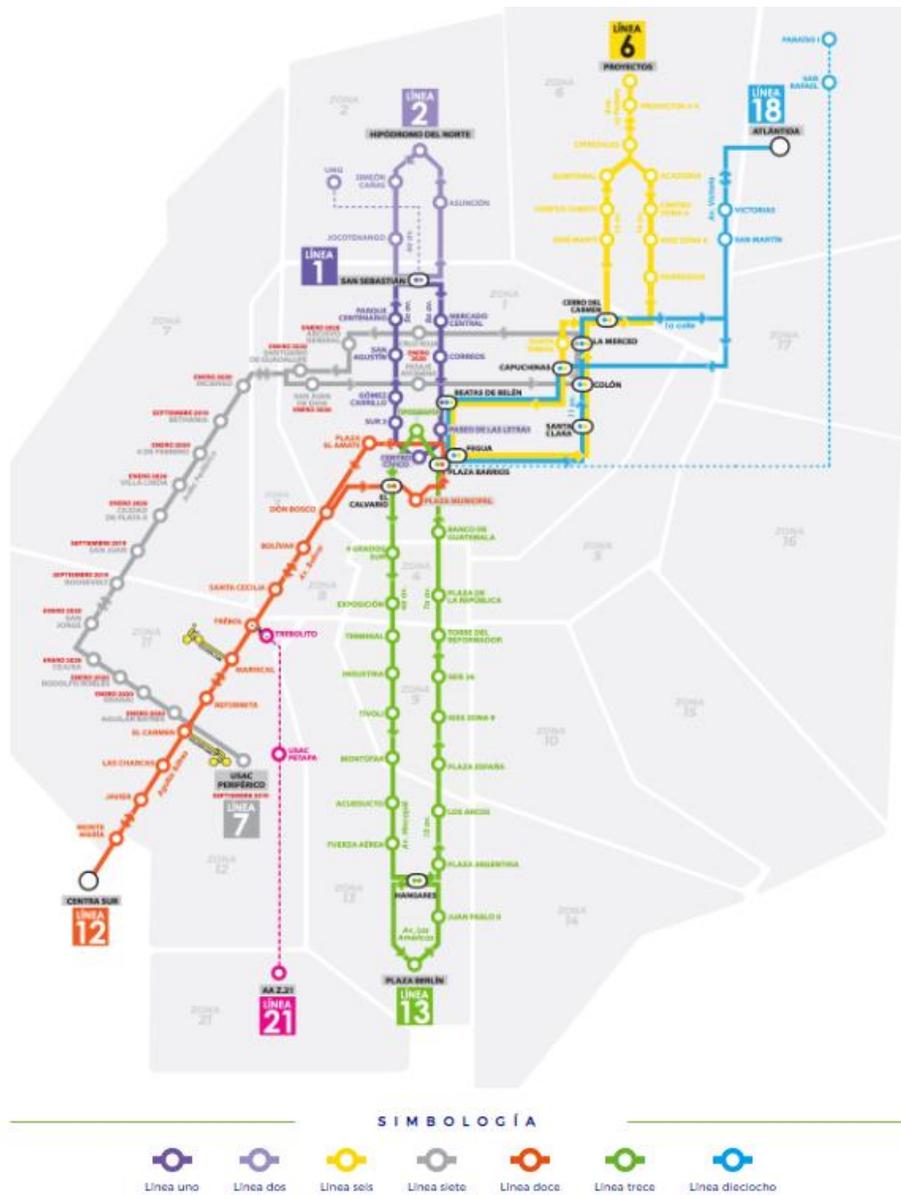
Las rutas del Transmetro abordan calles principales de la Ciudad de Guatemala.

Tabla I. **Rutas del Transmetro**

Línea	Ruta
1	San Sebastián, zona 1 hacia centro cívico, zona 1
2	Hipódromo del Norte, zona 1 hacia centro cívico, zona 1
6	Proyectos, zona 6 hacia Fegua, zona 1
7	Periférico USAC hacia Merced, zona 1
12	Centra Sur hacia Plaza Barrios, zona 1 Servicios directos Centra sur a trébol
13	Hangares, zona 13 hacia Tipografía, zona 1
18	Atlántida, zona 18 hacia Fegua, zona 1
21	Trébol, zona 12 hacia alcaldía auxiliar, zona 21

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Rutas del Transmetro



Fuente: Municipalidad de Guatemala (2019). *Líneas del Transmetro*. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://rutastransmetro.muniguate.com/?c=Estacion&a=infor>.

7.2.2. Tecnología empleada

En la Ciudad de Guatemala, las unidades del servicio de movilización público son alimentadas por combustibles fósiles. Esto quiere decir que la tecnología empleada es el motor de combustión interna, en específico y como tal, el motor diésel. Esta tecnología al ser comparada con las tecnologías eléctricas en el caso específico de motor, según BUN-CA (2010) un motor eléctrico cuenta con una eficiencia de 92 %, mientras que un motor diésel cuenta con una eficiencia de 30 % al 45 %. Y se puede agregar que un motor eléctrico tiene una reducción considerable de emisiones de GEI.

7.3. Transporte público eléctrico

Este hace alusión a la disminución de la energía consumida y la capacidad de ser un servicio sustentable. Además, este transporte se considera eficiente. Para que sea aceptado y viable, la generación de energía debe ser proveniente de fuentes renovables. Es necesario dar la solución para evitar la circulación de los vehículos alimentados por combustibles fósiles.

Según Santamarta (2009), la energía eólica es la ideal para poder alimentar a los VE puesto que, favorece el tema de recursos y el coste de operación. Sin embargo, en Guatemala se tiene un suministro de energía eléctrica adecuado y variado. Se distingue por la alta participación en la generación con el recurso hídrico, esta es la fuente renovable más aprovechada a nivel nacional.

7.3.1. Tipos

Al igual que los transportes públicos alimentados por combustibles fósiles o convencionales, los transportes con tecnología eléctrica existen varios tipos.

7.3.1.1. Metro

Es el transporte público que cuenta con carril propio y regularmente es subterráneo. Según la Unión internacional de transporte público (2003), el metro fue creado para darle frente a toda aquella congestión del tránsito urbano en las ciudades, esta desarrolla la política de movilidad estructurada y tiene el factor primordial de tener una mayor calidad de vida.

7.3.1.2. Tren

Este es un sistema de riel alimentado por una red eléctrica externa, esto quiere decir que cuenta con un cableado suministrando la electricidad. Por otro lado, estas fuentes varían, ya que pueden ser catenarias, tercer riel y por un dispositivo a bordo como baterías o baterías inerciales.

7.3.1.3. Tranvía

Este es un medio de transporte eléctrico, su circulación la hace por áreas metropolitanas sobre las calles y avenidas. Este medio es alimentado regularmente por cables soterrados al medio de su estructura o aéreos. Para Camarena (1991), el tranvía pasó a ser un beneficio para el ahorro de tiempo de las personas. Además, determinó una mejoría en la movilización de las personas y así, estas pudieran estar a la hora correspondiente en el punto de llegada.

7.3.1.4. Unidades de transporte público eléctrico

Existen distintas marcas y modelos de buses eléctricos. Esta tecnología tiene un mayor rendimiento y está categorizada entre los vehículos más eficientes a nivel mundial.

Para Paredes (2019), la disminución de los sistemas integrales de transporte público alimentados por combustibles fósiles a los sistemas eléctricos de transporte público, generarían un ahorro de importación a nivel macroeconómico. Así también, el rendimiento de las unidades eléctricas reflejaría como la energía es utilizada de manera eficiente.

7.4. Matriz energética

La matriz energética del subsector eléctrico es una representación gráfica de toda la energía generada que utiliza el país y así también la representación de las fuentes utilizadas en la generación.

En Guatemala la matriz es variada, puesto que no depende de un solo tipo de recurso para la generación. La CNEE indica que se tiene una matriz de generación diversificada en tecnologías, sin embargo, se distingue por la generación de las energías renovables.

7.4.1. Cuadro institucional

En Guatemala, existen entes gubernativos y no gubernativos que rigen, coordinan y hacen una planificación del sector energía, a continuación, se hace una breve descripción de ellos.

7.4.1.1. MEM

Ministerio de Energía y Minas, es el ente gubernativo rector de la coordinación, planificación y formulación de políticas del sector energía para el desarrollo y cumplimiento de las leyes.

7.4.1.2. CNEE

Comisión Nacional de Energía Eléctrica, es el ente gubernativo encargado de hacer cumplir los mandatos y leyes, tales como la Ley General de Electricidad. Así también, es el ente encargado de definir tarifas para la distribución y transmisión de energía, pronunciamiento de normas técnicas y garantizar que el servicio de energía eléctrica sea de buena calidad.

7.4.1.3. AMM

El Administrador de Mercado Mayorista, es la entidad privada desarrollada para la coordinación todos los movimientos del mercado eléctrico. Además, administra a los participantes que conforman el mercado eléctrico.

Los participantes son:

- Generadores
- Transporte
- Distribuidores
- Comercializadores
- Grandes usuarios

7.4.2. Capacidad instalada

Es el potencial que se tiene para la generación de energía eléctrica. Para el año 2021, Guatemala cuenta con 4111.541 MW. Así también, la energía eléctrica producida para el año 2021 es de 6466.32 GWh. Con estos datos, se puede mencionar que Guatemala cubre la demanda máxima.

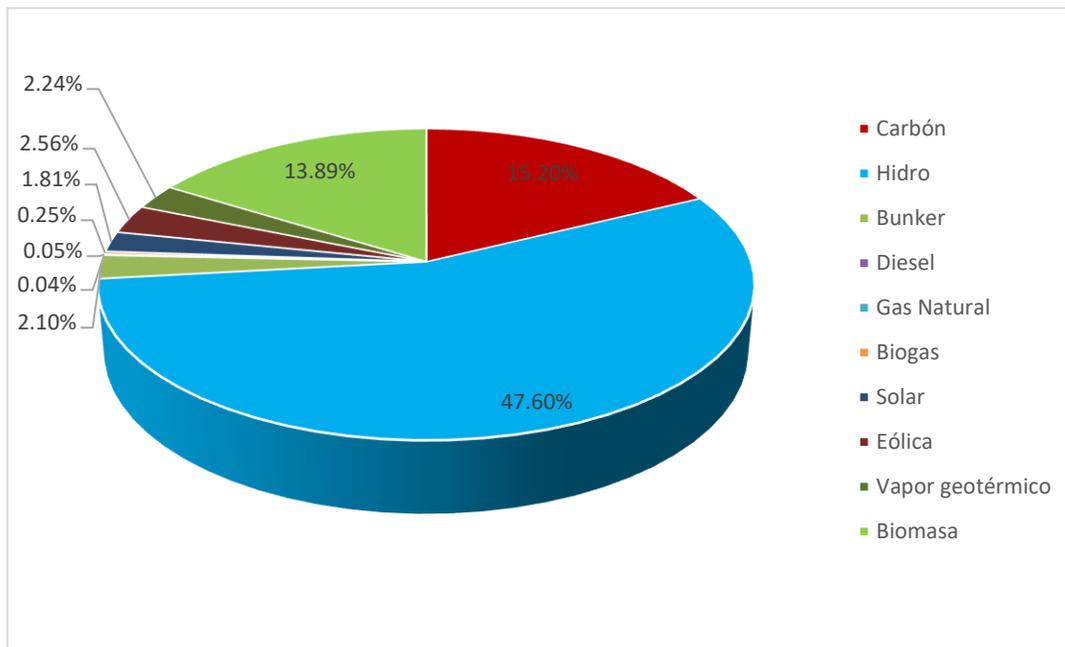
7.4.2.1. Demanda máxima

La demanda máxima se determina como el pico o cresta de la energía eléctrica consumida en el país. En Guatemala la demanda máxima se da entre las 18:00 y 21:00 horas. Esta varía según el día.

7.4.3. Generación total

Para la generación de energía eléctrica, existen distintos tipos de tecnología. Esta tecnología depende del origen y fuente a utilizar.

Figura 2. **Generación de energía**



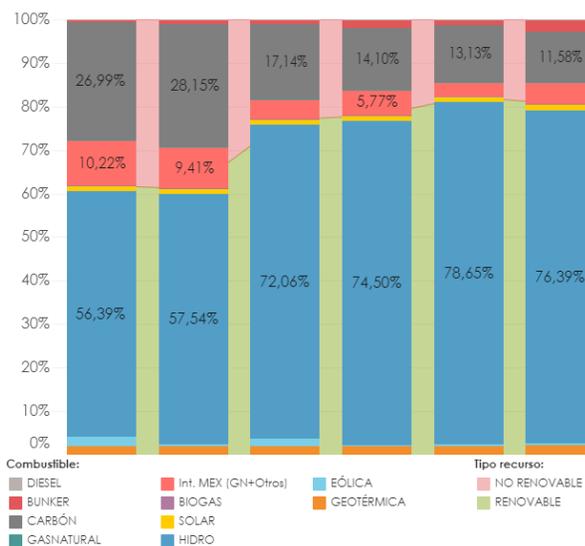
Fuente: elaboración propia, con datos del AMM (2021). *Generación real por tecnología.*

7.4.3.1. Generación fuentes renovables

Guatemala al tener una matriz energética variada, la generación de energía proviene de distintas tecnologías. Las tecnologías que hacen uso de fuentes renovables según la CNEE son:

- Hidroeléctricas
- Plantas térmicas de biomasa
- Geotérmicas
- Granjas solares
- Parques eólicos
- Biogás

Figura 3. **Generación de energía eléctrica período 08/08/2021 a 19/09/2021**



Fuente: CNEE (2021). *Matriz de generación de energía eléctrica*. Consultado el 1 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/wp/matriz-historica-de-generacion/>.

7.4.3.2. Generación fuentes no renovables

“La generación de energía a través de fuentes primarias no renovables es la pionera en el mundo. El petróleo representa el 32.9 % del consumo mundial de energía” (Ministerio de Energía y Minas, 2019b, p. 26).

Los recursos no renovables para la generación están descritos por la CNEE, los cuales son:

- Plantas de Diesel
- Plantas de bunker
- Plantas de carbón
- Plantas de gas natural

7.5. Balance energético

Según el MEM (2019), el balance energético es “la contabilización del flujo de energía entre las diferentes etapas y actividades de la cadena energética y sus relaciones de equilibrio” (p. 3).

También agrega que “la energía que se produce se intercambia con el exterior, se transforma y se consume por los distintos sectores caracterizados en un país determinado” (Ministerio de Energía y Minas, 2019b, p. 3).

Para determinar este balance, se hace la suma de distintos componentes, los cuales están descritos en la tabla a continuación.

Tabla II. **Consumo de energéticos sectorizado año 2019**

Actividad	Consumo (kBEP)
Consumo propio	487.38
Pérdidas	983.19
Industria	8133.94
Transporte	24192.31
Residencial	54245.04
Servicios y comercio	3446.28
Total	91488.15

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas (2019a). *Balance Energético 2019*.

7.5.1. Energía primaria

Este tipo de energía es obtenida de forma directa y son recursos obtenidos de la naturaleza. Representando el tema de energías, la energía eólica, solar e hidráulica son fuentes de energía primarias.

7.5.2. Energía secundaria

Estos son productos que provienen de un proceso de transformación, es decir, son las fuentes de consumo en los distintos sectores. En esta rama del balance energético, se encuentra la gasolina, electricidad, el diésel, gas licuado y los no energéticos.

Los derivados del petróleo fueron las fuentes secundarias más consumidas el año 2019, con un valor de 33,239.58 kBEP. (Ministerio de Energía y Minas, 2019b, p. 6)

7.6. AMEGUA

La Asociación de Movilidad Eléctrica en Guatemala se caracteriza por ser una organización sin fines de lucro. La conforman personas proactivas e innovadoras, así también, empresas que buscan un desarrollo sostenible y proyectos hacia esa transición energética en Guatemala. Fue creada en el año 2018 con el motivo de promover la movilidad eléctrica.

Asimismo, AMEGUA tiene un proceso que se está realizando por abogados y legisladores del país para poder tomar las medidas de un proyecto de ley que permita la inclusión de la movilidad eléctrica en Guatemala (AMEGUA, 2021).

7.7. GEI

“Son todos aquellos compuestos químicos en estado gaseoso que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor allí mismo, en la atmósfera” (Ministerio de Energía y Minas, 2019b, p. 14).

Es decir, el MEM (2019), a través de su documento del balance energético, los GEI son los participantes que causan el aumento del efecto invernadero, y debido a este efecto, se da el aumento de la temperatura en el país y, a su vez, en la tierra.

“Los principales gases de efecto invernadero que se pueden encontrar en la atmósfera son: el dióxido de carbono (CO₂), el vapor de agua (H₂O), el metano (CH₄), y el ozono (O₃)” (Ministerio de Energía y Minas, 2019b, p. 28).

Según el IPCC, la cuantificación y estimación de estos gases, a través de las metodologías ya definidas solo toman en cuenta el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (N₂O).

De acuerdo al potencial de calor que tienen estos gases, se ha estandarizado que todos los gases distintos al dióxido de carbono serán tomados por el equivalente que este último tiene. En otras palabras, las emisiones que se producen de los gases son cuantificadas por la estandarización a dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}).

7.7.1. Cambio climático

Según Naciones Unidas (1992), “se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (p. 3).

7.7.2. Estimación de GEI

Existen metodologías para la estimación de las emisiones producidas por los distintos sectores económicos del mundo.

7.7.2.1. Sector energía

El dato de actividad es uno de los factores para la estimación de emisiones del sector energía, este dato representa el consumo de combustibles. Por otro lado, el contenido de carbono es el segundo factor para considerar en la ecuación, este último llamado factor de emisión.

La ecuación está dada:

$$Emisiones = DA * Fe \quad (Ec. 1)$$

- Coeficiente de emisión

Este es un indicador de eficiencia. Este está representado por:

$$C. Emisión = \frac{KgCO_2e}{kWh} \quad (Ec. 2)$$

Tabla III. **Coeficientes de emisión de generación eléctrica**

Combustible	Factor de emisión Kg CO₂e/KWh
Carbón mineral	1.1682
Fuel Oil	0.6143
Bagazo de Caña	0.0260
Biogás	0.0007
Diesel	4.7148
Leña	0.00
Hydroenergía	0.00
Geoenergía	0.00
Solar Fotovoltaica	0.00
Eólica	0.00

Fuente. elaboración propia con datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas (2019a).

Balance Energético 2019.

Según el MEM (2019), “los factores de emisión para el dióxido de carbono (CO₂) para el caso de la biomasa (bagazo de caña, biogás y la leña) se estiman, pero solo se reportan como elementos informativos, ya que sus emisiones se consideran de carácter biogénico” (p. 13).

Así mismo, la hidroenergía, solar fotovoltaica, eólica y geotérmica no cuentan con un coeficiente de emisión puesto que se consideran energías de cero emisiones. Se puede mencionar que, la producción de los dispositivos que se utilizan para la generación de energía es comparado con su vida útil y por ello se llega a la conclusión que las emisiones de producción no forman parte del coeficiente de emisión.

7.7.2.2. Sector transporte

“Se estima que el 63 % del consumo de derivados del petróleo proviene del sector transporte de los países alrededor del mundo. Y esto representa una cantidad considerable de emisiones de GEI” (Ministerio de Energía y Minas, 2019b, p. 25).

Para camiones y transporte de pasajeros existen metodologías para el consumo de combustible que tienen, en litros; por el recorrido, si es urbano o rural y por el coste económico del combustible (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011).

Tabla IV. **Estimación de emisiones de GEI para autobuses**

Datos Disponibles	Metodología del cálculo
Consumo de combustible en litros (diésel o gasolina)	Cálculo de CO ₂ a partir de los factores
	Gasolina 95 o 98, 2.38 kg de CO ₂ /L
	Diesel 2.61 kg CO ₂ /L

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

7.7.3. Estrategia de desarrollo con bajas emisiones (Guatemala)

Este documento está formulado con el apoyo de entidades públicas, privadas, organizaciones indígenas, cooperativas y grupos organizados con el propósito de planificar estrategias para la mitigación de los GEI en los distintos sectores del país. Promueve la responsabilidad ambiental y un desarrollo sostenible. (MEM, 2019, p.11).

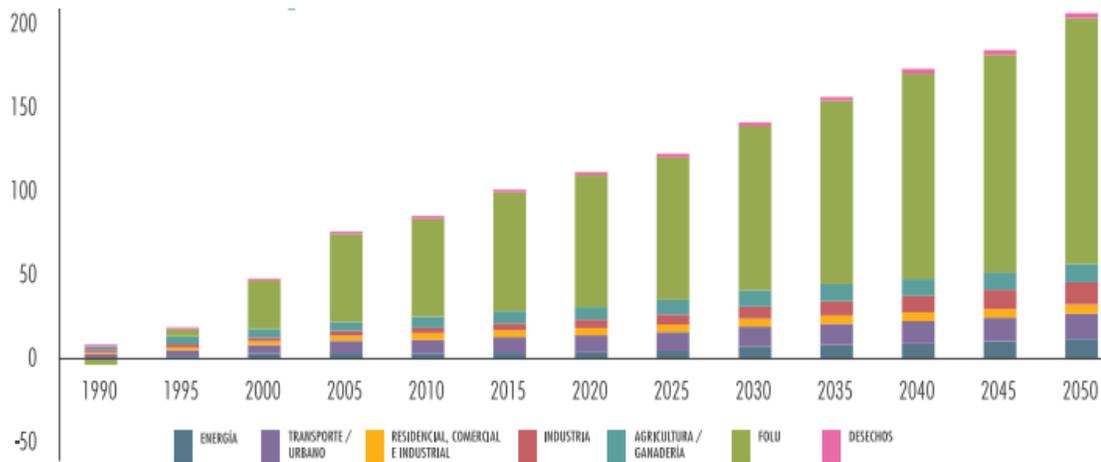
Se establecieron seis grupos de trabajo de acuerdo con las actividades económicas que producen las emisiones de GEI.

- Sector energía
- Sector transporte
- Sector industria
- Sector bosques y otros usos de la tierra
- Sector agricultura y ganadería
- Sector desechos sólidos y líquidos

7.7.3.1. Línea base

Para el país, esta referencia permite estimar y realizar la proyección hacia futuro. La metodología para plantear esta línea base fue a través del planteamiento del IPCC. Se estima que para el 2050 Guatemala tendrá una población de 28 millones de habitantes y cada habitante produce 8 toneladas de CO₂e.

Figura 4. **Línea Base Multisectorial de emisiones de GEI**

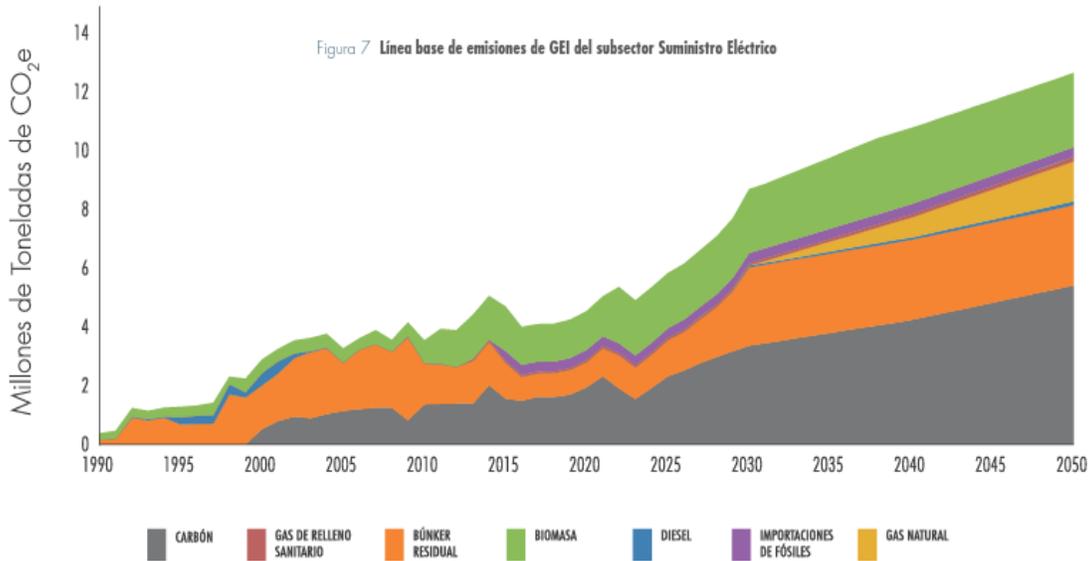


Fuente: Ministerio de Economía (2018). *Estrategia de desarrollo con bajas emisiones para el cambio climático.*

7.7.3.1.1. Sector energía

La energía que abastece a la mayoría de los sectores del país, en la actualidad utiliza el diésel, bunker y biomasa y carbón. La estimación para el año 2015 de emisiones de GEI, fueron 3.6 millones de CO_{2e}. En el 2050 se estimó que sería de 12 millones de CO_{2e}, esto debido al aumento de la demanda nacional de energía eléctrica.

Figura 5. **Línea base de emisiones GEI del sector energía**



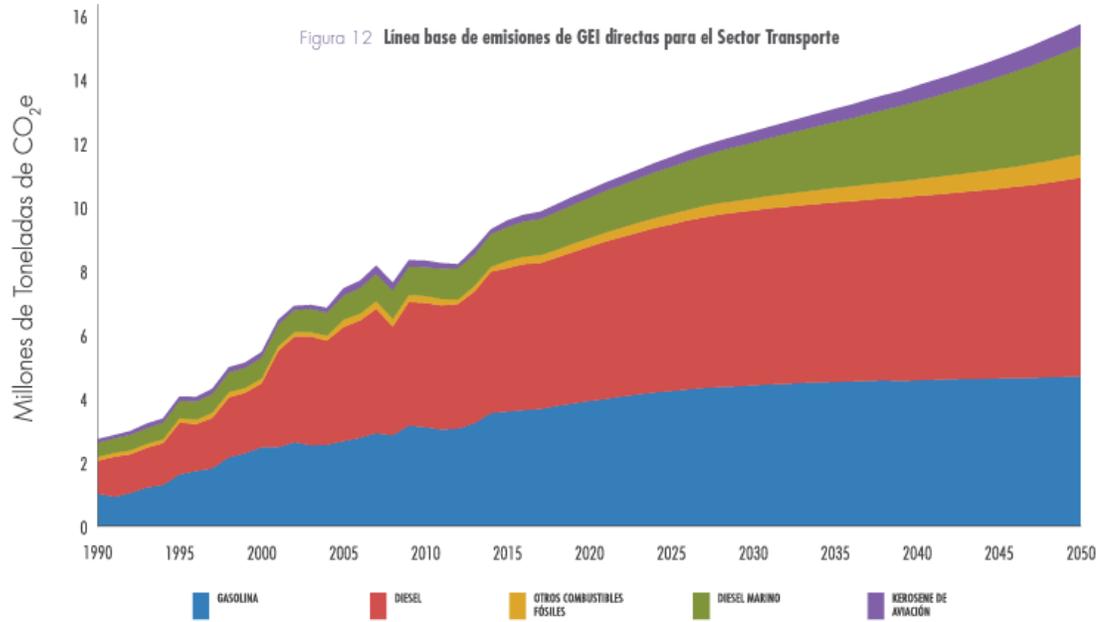
Fuente: Ministerio de Economía (2018). *Estrategia de desarrollo con bajas emisiones para el cambio climático.*

7.7.3.1.2. Sector transporte

Para la línea base del sector transporte se tomó la quema de combustibles por parte de los vehículos, buses, camiones, navegación y aviación. En la ciudad de Guatemala se utiliza el diésel por parte de los transportes públicos masivos.

“En 2015, la estimación de emisiones por parte del transporte fue 9.5 millones de toneladas de CO₂e. Para el 2050, se estima que llegarán a 15 millones de toneladas de CO₂e. Las emisiones del sector transporte aumentarían en un 60 %” (Ministerio de Economía, 2018, p. 28).

Figura 6. Línea base de emisiones de GEI sector transporte



Fuente: Ministerio de Economía (2018). *Estrategia de desarrollo con bajas emisiones para el cambio climático.*

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Transporte Público

1.1.1. Sistema de Transporte público

1.1.2. Calidad del Transporte público

1.1.3. Tipos

1.1.3.1. Transporte Colectivo

1.1.3.2. Taxis

1.1.3.3. Bicicletas

1.1.3.4. Uber

1.2. Transporte público en Guatemala

1.2.1. Rutas Transmetro

1.2.2. Tecnología Empleada

1.3. Transporte público eléctrico

1.3.1. Tipos

- 1.3.1.1. Metro
 - 1.3.1.2. Tren
 - 1.3.1.3. Tranvía
 - 1.3.1.4. Unidades de transporte público eléctrico
- 1.4. Matriz energética
 - 1.4.1. Cuadro institucional
 - 1.4.1.1. MEM
 - 1.4.1.2. CNEE
 - 1.4.1.3. AMM
 - 1.4.2. Capacidad instalada
 - 1.4.2.1. Demanda máxima
 - 1.4.3. Generación total
 - 1.4.3.1. Generación fuentes renovables
 - 1.4.3.2. Generación fuentes no renovables
 - 1.4.4. Balance energético
 - 1.4.4.1. Energía primaria
 - 1.4.4.2. Energía secundaria
- 1.5. AMEGUA
- 1.6. Gases de efecto invernadero
 - 1.6.1. Cambio climático
 - 1.6.2. Estimación de gases de efecto invernadero
 - 1.6.2.1. Sector energía
 - 1.6.2.2. Sector transporte
- 1.7. Estrategia de desarrollo con bajas emisiones (Guatemala)
 - 1.7.1. Línea Base
 - 1.7.1.1.1. Sector energía
 - 1.7.1.1.2. Sector transporte

- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 2.1. Características del estudio
 - 2.1.1. Diseño
 - 2.1.2. Enfoque
 - 2.1.3. Alcance
 - 2.1.4. Unidad de análisis
 - 2.2. Variables
 - 2.3. Fases del desarrollo de la investigación
 - 2.3.1. Fase 1: Revisión de la literatura
 - 2.3.2. Fase 2: Descripción de las unidades en Guatemala
 - 2.3.3. Fase 3: Recopilación de información de buses eléctricos y cambio en la matriz energética
 - 2.3.4. Fase 4: Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero
 - 2.3.5. Fase 5: Análisis e interpretación de la información
 - 2.3.6. Organización y obtención de la información
 - 2.3.6.1. Datos generales
 - 2.3.6.2. Datos específicos
 - 2.3.6.2.1. Factores de emisión
 - 2.3.6.2.2. Consumo energético
 - 2.3.6.2.3. Cantidad de unidades
 - 2.4. Determinación de posibles escenarios
 - 2.5. Técnicas de análisis de información
- 3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 3.1. Detalles de la tecnología de las unidades de transporte público convencional
 - 3.2. Estimación de consumo energético de las unidades de transporte público eléctrico y el cambio generado en la matriz energética.

- 3.3. Estimación de emisiones
 - 3.3.1. Emisiones por parte de las unidades de transporte público convencional
 - 3.3.2. Emisiones por parte de la generación de energía eléctrica
- 3.4. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Las unidades de transporte público eléctrico como alternativa para su utilización y mitigación de gases de efecto invernadero conlleva realizar un análisis comparativo con las unidades ya circulando en la Ciudad de Guatemala.

9.1. Características del estudio

La presente investigación tiene un enfoque de estudio propuesto mixto, ya que las fuentes de información emplean variables cuantitativas continuas y variables cualitativas nominales y dicotómicas. Estas variables posteriormente serán analizadas y no se dependerá de factores subjetivos. A su vez no comprobará una hipótesis.

El alcance que se tiene es descriptivo, dado que busca inferir el grado de influencia que múltiples variables independientes tienen sobre la variable objetivo con la información pública para poder estimar los valores que presenten los mejores resultados, con el fin de minimizar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero por parte de las unidades de transporte público. Así también, el alcance de la investigación no comprobará una hipótesis.

El diseño adoptado será no experimental, puesto que, las condiciones de las unidades de transporte público a analizar y la generación de energía eléctrica serán observadas y las variables no serán manipuladas. Se describirá el grado de influencia en el ambiente que estas tienen según las emisiones producidas de gases de efecto invernadero.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio son las unidades de transporte público que circulan por la Ciudad de Guatemala, específicamente las unidades de transporte masivo bajo el cargo de la Municipalidad de Guatemala ya que se cuenta con la información pública de las rutas y estado de las unidades.

9.3. Variables

Se realiza una tabla con las variables de estudio para conceptualizar y obtener las dimensiones en orden de lo necesario para desarrollar la investigación.

Tabla V. **Variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Unidades	Unidades de transporte masivo que recorren las líneas	Cuantificación de las unidades que circulan dentro de la ciudad capital
Consumo de energía	Energía aprovechada por parte de una unidad para circular o hacer un trabajo	Energía consumida por kilómetro según unidades eléctricas MWh/Km y consumo de combustible por kilómetro las unidades convencionales gal/Km y L/Km
Emissiones generadas	Producto de la utilización de combustibles fósiles para alimentación de unidades de transporte masivo y generación de energía	A través de la información pública y de referencia. Por unidad de transporte masivo y generación de energía. La unidad es kg de CO ₂ e

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

9.4. Fases del estudio

A continuación, se describirán las fases del estudio para la presente investigación.

9.4.1. Fase 1: Revisión de la literatura

Como primera fase se realizará la búsqueda y recopilación de bibliografías relacionadas al tema propuesto para su consulta. Así también se complementará con las investigaciones previas y ejemplo de los países que ya adoptaron estas nuevas tecnologías para el desarrollo sostenible.

9.4.2. Fase 2: Descripción de las unidades en Guatemala

Para la segunda fase de la investigación es necesario hacer una recopilación de información para describir cómo la tecnología empleada de las unidades de transporte utilizadas actualmente en Guatemala es eficiente o no es eficiente. Para luego tener las bases teóricas, argumentar y analizar la continuidad del uso de esta tecnología.

Por otro lado, se utilizará la siguiente tabla para administrar la información de consumo de combustible, consumo energético y características

Tabla VI. **Características de unidades de TP convencional**

Modelo	Galones/Km recorrido	Tipo de combustible	Características
Unidades convencionales			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.4.3. Fase 3: Recopilación de información de buses eléctricos y cambio en la matriz energética

Una vez descrita la tecnología utilizada en las unidades de transporte público convencional, se hará nuevamente una revisión literaria para determinar unidades de transporte público eléctrico ideales para la introducción y utilización en la ciudad de Guatemala. Seguido, se hará la estimación del consumo energético que estas tendrán, ya introducidas en el sistema de transporte público de la Ciudad de Guatemala. Posteriormente, a través de análisis estadísticos inferenciales y series de tiempo se determinará si se produce un cambio significativo en la matriz energética.

Tabla VII. **Características de las unidades de TP eléctrico**

Unidad de transporte eléctrico	Cantidad de unidades transporte eléctrico	Consumo energético (Kwh/Km)	Características
Opción 1			
Opción 2			
Opción 3			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.4.4. Fase 4: Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero

La matriz eléctrica de Guatemala es una matriz variada, la generación de energía no tiende a depender de un solo tipo de recurso. Las emisiones de GEI provocadas por el sector energía son por parte de la generación de energía con combustibles fósiles. Para determinar las emisiones de GEI por parte de la generación se tomará el factor de emisión según el combustible y se hará el cálculo respectivo.

Para estimar las emisiones de GEI provocadas por las unidades del transporte público se tomará la referencia del factor de emisiones para autobuses de la Comisión Interdepartamental del Cambio Climático.

Tabla VIII. **Emisiones estimadas por TP convencional y generación de energía**

Fuente de emisiones	Emisiones estimadas
Generación de energía eléctrica	
Unidades de transporte público	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.4.5. Fase 5: Análisis e interpretación de la información

En la fase 5, al ya obtenidas las emisiones generadas por parte de las unidades de transporte público y la generación de energía eléctrica, se hará el análisis estadístico respectivo de prueba de medias para determinar si existe una diferencia significativa de la utilización de unidades de transporte público convencional y la utilización de unidades eléctricas.

9.5. Resultados esperados

En la investigación, se espera describir la tecnología empleada de las unidades de transporte público que se utilizan actualmente con detalles de consumo energético y eficiencia, con el fin de determinar si esta tecnología puede seguir utilizándose sin consecuencias graves al medio ambiente.

Posteriormente, se espera detallar las unidades de transporte público eléctricas, tener sus características y especificaciones del fabricante. Así también, detallar a través del estudio del consumo energético producido por las unidades eléctricas, el cambio en la matriz energética. Se espera que, ante las consideraciones necesarias, tenga un valor y estimación que no afecte de manera considerable la matriz eléctrica de Guatemala.

Al estimar las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de las unidades de transporte público actual y las emisiones producidas por la generación de energía eléctrica para alimentar a las unidades de transporte público eléctrico, se espera que se dé una diferencia significativa menor.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Al obtener los datos del presente estudio se va a realizar el análisis estadístico correspondiente de toda la información recopilada y determinará los comportamientos y estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la generación de energía y los buses convencionales.

Las herramientas que se utilizarán y se necesitarán para ello son las siguientes:

- Tablas de datos de consumo de energía por parte del transporte público convencional.
- Tablas de datos de las opciones de unidades eléctricas de transporte público con su información general
- Gráfico de comportamiento de la generación eléctrica en Guatemala

Para realizar el análisis estadístico, se hará el uso de las siguientes herramientas:

- Análisis de pruebas de medias entre las variables ya que, con esta prueba se presentará si existe una diferencia significativa entre las unidades utilizadas en la actualidad y las unidades que serían el reemplazo de estas.

- Uso de medidas de tendencia central y medidas de dispersión, utilizadas para obtener el dato específico de cantidad de unidades y lograr tener en concreto la información para las estimaciones posteriores.
- Series de tiempo para la proyección de consumo en el futuro, esto para desarrollar la demanda que se tendrá de los buses eléctricos circulando sobre las distintas rutas

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización de la presente investigación, se consideran ciertos recursos. Estos recursos son necesarios para el investigador y la factibilidad del estudio.

12.1. Recurso humano

Está otorgado por el autor de la presente investigación, el asesor, quien es el encargado de que la investigación tenga sentido y vaya según el normativo. El profesor revisor durante el proceso de realización de la investigación y las personas involucradas para la entrega de información.

12.2. Recurso tecnológico

Para desarrollar la presente investigación y análisis estadístico, el recurso tecnológico es necesario, ya que con este se pueden utilizar las herramientas estadísticas de acceso libre, Excel y Word.

12.3. Recurso de equipo de cómputo

El equipo de cómputo a utilizar en la presente investigación, son equipos para tareas exigentes y cuentan con capacidad para el manejo de la información. Detalladamente se utilizará una computadora de escritorio y una laptop. De igual forma, es necesario contar con memorias flash con puerto USB para el traslado de información.

12.4. Recurso de acceso a la información

Se tiene el acceso a la información ya que se tomará de una institución pública y según la ley del derecho a la información, se puede solicitar la información necesaria.

12.5. Recurso financiero

El trabajo de investigación se realizará con financiamiento propio del investigador. A continuación, se detalla el recurso y su costo.

Tabla X. **Recursos financieros para la investigación**

Recurso	Horas	Costo	Total
Investigador	50	Q 150.00	Q 7,500.00
Impresiones	--	Q 1000.00	Q 1,000.00
Resma de hojas		Q 40.00	Q 120.00
Honorarios Asesor	2	Q 250.00	Q 500.00
Movilización	6	Q100.00	Q 800.00
TOTAL			Q9,920.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Ya que se cuenta con todos los recursos para realizar la presente investigación, esta es factible para su desarrollo.

13. REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista (2021). *Generación real por Tecnología*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZTMzMmE1ZTkktYzMwNC00MTA4LTg4YjUtMjMjFhNDM0OTE5NTNhliwidCI6ImFINjg1NjQ3LWlyZmEtNGI3Yy1iZjU2LTg1ZTQyZDJmNjQzOCIsImMiOjR9>.
2. Ahlstrom, C. y Kircher, K. (enero, 2017). Changes in glance behaviour when using a visual eco-driving system - A field study. *Applied Ergonomics*, 58, 414-423.
3. Anaya, F. (2018). *Vehículos eléctricos en Guatemala Análisis de Impacto y Propuesta de Implementación*. Guatemala: OLADE.
4. Atabani, A., Badruddin, I., Mekhilef, S. y Silitonga, A. (marzo, 2011). A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4586-4610.
5. BUN-CA. (2010). *Motores Eléctricos: Buenas Prácticas en Eficiencia Energética*. San José, Costa Rica: Autor.
6. B2B News (29 de Septiembre, 2021). ¿Qué es y cómo se mide el consumo energético? [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.totalenergies.es/es/consumo-energetico>.

7. Cabello, A. (2006). *Desarrollar fuentes de energías renovables. En Energías alternativas solución para el desarrollo sustentable.* Argentina: Refinor S.A.
8. Camarena, M. (marzo, 1991). *El Tranvía en época de cambio. Historias,* (27), 141-148.
9. Ceballos, J. E., Caicedo, E. y Ospina, S. (mayo, 2016). Una propuesta metodológica para dimensionar el impacto de los vehículos eléctricos sobre la red eléctrica. *Ingeniería,* 21(2), 154-175.
10. Celi, S. (enero, 2018). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel Mundial. *Espacios,* 39(18), 1-15.
11. Comisión Interdepartamental del Cambio Climático (2011). *Guía práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.* España: Autor.
12. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (30 de septiembre, 2021). Matriz energética de Guatemala. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/wp/matriz-energetica/>.
13. Diaz, E. (enero, 2008). Guatemala City: Bus Rapid Transit Comes to Central America. *Sustainable Transport,* (20) 10-11.
14. Farías, L. (2012). *El transporte público urbano bajo en carbono en América Latina.* Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

15. Federación de Asociaciones de Consumidores y Usuarios de Andalucía. (2007). *El Transporte Público*. España: Autor.
16. García, E. (diciembre, 2003). Competitividad y Eficiencia. *Estudios de Economía aplicada*, 21(3), 423-450.
17. Hidalgo, D. (mayo, 2005). Comparación de Alternativas de Transporte Público Masivo - Una aproximación Conceptual. *Revista de Ingeniería*, (21), 94-105.
18. Juárez, M., Castellanos, E. y Fuentes, G. (2019). *Emisiones históricas de gases de efecto invernadero y sus tendencias: Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. Guatemala: Editorial universitaria UVG.
19. Ministerio de Economía (2018). *Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto invernadero*. Guatemala: Autor.
20. Ministerio de Energía y Minas. (2019a). *Balance Energético*. Guatemala: Autor.
21. Ministerio de Energía y Minas. (2019b). *Política Energética 2019-2050*. Guatemala: Autor.
22. Molinero, Á. y Sánchez, L. (2002). *Transporte Público: Planeación, diseño, operación y administración*. Ciudad de México, México: Quinta del Agua Ediciones.

23. Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Canadá: Autor.
24. Paredes, L. (julio, 2019). Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental. *Revista Técnica Energía*, 16(1), 97-105.
25. Pérez, R. (agosto, 2013). El Sistema de bicicletas públicas Ecobici del cambio modal al cambio social. *Espacialidades*, 3(2), 104-124.
26. Perrone, M. (2020). *Electromovilidad y marco normativo: Análisis actual de la movilidad eléctrica como una alternativa en el transporte público para mitigación del cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito*. (Tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ecuador.
27. Rodríguez, Á. y Jorge, A. (2012). *!Taxi! El modo olvidado de la movilidad en Bogotá*. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes.
28. Rodríguez, D. y Vergel, E. (enero, 2013). Sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) y desarrollo urbano en América Latina. *Land Lines*, 1,16-24.
29. Saka, F., Tamblay, S. y Gschwender, A. (2021). Electromovilidad en el Transporte Público: La Experiencia de Santiago Chile. *Revista Estudios de Transporte*, 22(1), 1-15.
30. Santamarta, J. (febrero, 2009). El futuro del automóvil es eléctrico. *Técnica Industrial*, (281), 26-35.

31. Valenzuela, F. (2012). *Vehículos Eléctricos, Modelado, Simulación y Puesta en Marcha de una Bancada de Imanes Permanentes* (Tesis de licenciatura). Universidad de Sevilla, España.