



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS EN GUATEMALA PARA EL AÑO 2030 A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA
SERIE DE TIEMPO**

Luis Guillermo Herrera Micán

Asesorado por la Mtra. Inga. Irma Jeannette Orozco García

Guatemala, septiembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS EN GUATEMALA PARA EL AÑO 2030 A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA
SERIE DE TIEMPO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS GUILLERMO HERRERA MICÁN

ASESORADO POR LA MTRA. INGA. IRMA JEANNETTE OROZCO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

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. Christian Moisés de la Cruz Leal |
| VOCAL V | Br. Kevin Armando Cruz Lorente |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| EXAMINADOR | Ing. José Ismael Véliz Padilla |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

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 PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN GUATEMALA PARA EL AÑO 2030 A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 5 de marzo de 2020.

Luis Guillermo Herrera Micán

Ref. EEPFI-373-2020
Guatemala, 05 de marzo de 2020

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela de Ingeniería Mecánica
Presente.

Estimado Ing. Morales:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN GUATEMALA PARA EL AÑO 2030 A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO**, presentado por el estudiante **Luis Guillermo Herrera Mican** carné número **200815469**, 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 Estadística Aplicada.

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.

Sin otro particular,

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtra. Irma Jeannette García Orozco
Asesora

IRMA JEANNETTE OROZCO GARCIA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADO 12496

Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte
Orozco Coordinador de Maestría
Estadística Aplicada



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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

F.P.-FIM-002-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería en Mecánica de la Facultad de Ingeniería 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: **PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN GUATEMALA PARA EL AÑO 2030 A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO**, presentado por el estudiante universitario Luis Guillermo Herrera Mican, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gilberto Morales Baiza
Director

Escuela de Ingeniería en Mecánica



Guatemala, marzo de 2020



**Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102**

DTG. 236.2020.

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, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN GUATEMALA PARA EL AÑO 2030 A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Guillermo Herrera Micán**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval.

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido culminar mi carrera y por todas las bendiciones recibidas.
- Mi padre** Oscar Herrera Estrada (q. e. p. d.) por haberme enseñado humildad, perseverancia y resiliencia para enfrentar las adversidades de la vida. Este triunfo va dedicado para su eterna memoria.
- Mi madre** Faustina Micán López por haberme enseñado a trabajar y luchar arduamente por los sueños.
- Mis hermanos** Por todos sus consejos y apoyo incondicional en todo el trayecto de mi vida y por todo su amor.
- Mis amigos** Por brindarme momentos importantes en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por formarme como profesional y haberme dado el honor de pertenecer a esta casa de estudios.

Facultad de Ingeniería Por brindarme todos los conocimientos técnicos de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN | XIII |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| | |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 9 |
| 3.1. Contexto general | 9 |
| 3.2. Descripción del problema | 9 |
| 3.3. Formulación del problema | 10 |
| 3.4. Delimitación del problema..... | 11 |
| | |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 13 |
| | |
| 5. OBJETIVOS | 15 |
| 5.1. General..... | 15 |
| 5.2. Específicos | 15 |
| | |
| 6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN | 17 |
| | |
| 7. MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 7.1. Fundamentos estadísticos | 19 |

| | | |
|---------|---|----|
| 7.1.1. | Series de tiempo..... | 19 |
| 7.1.2. | Tendencia..... | 19 |
| 7.1.3. | Ciclo | 20 |
| 7.1.4. | Estacionalidad | 21 |
| 7.1.5. | Aleatoriedad | 22 |
| 7.1.6. | Principio de parsimonia | 23 |
| 7.1.7. | Procesos estocásticos | 23 |
| 7.1.8. | Autocorrelación | 24 |
| 7.1.9. | Prueba de Helmert | 25 |
| 7.1.10. | Prueba T student..... | 25 |
| 7.1.11. | Metodología Box-Jenkins | 26 |
| 7.2. | Vehículos eléctricos y ambiente | 26 |
| 7.2.1. | Dióxido de carbono y calentamiento global..... | 27 |
| 7.2.2. | CO ₂ emitido al ambiente por el sector transporte en Guatemala..... | 27 |
| 7.2.3. | Movilidad sostenible y tendencias | 28 |
| 7.2.4. | Vehículo eléctrico | 28 |
| 7.2.5. | Puntos de recarga | 29 |
| 7.2.6. | Autonomía..... | 30 |
| 7.2.7. | Factores que influyen en la compra de un vehículo eléctrico..... | 30 |
| 7.2.8. | Mantenimiento | 30 |
| 7.2.9. | Promoción de la movilidad eléctrica | 31 |
| 7.2.10. | Adopción de nuevas tecnologías | 31 |
| 8. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS | 33 |
| 9. | METODOLOGÍA..... | 37 |
| 9.1. | Características del estudio | 37 |

| | | |
|--------|---|----|
| 9.2. | Unidades de análisis..... | 37 |
| 9.3. | Variables | 38 |
| 9.4. | Fases del estudio..... | 39 |
| 9.4.1. | Fase 1..... | 39 |
| 9.4.2. | Fase 2..... | 39 |
| 9.4.3. | Fase 3..... | 40 |
| 9.4.4. | Fase 4..... | 40 |
| 10. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN..... | 41 |
| 11. | CRONOGRAMA..... | 43 |
| 12. | FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO | 45 |
| 13. | REFERENCIAS..... | 47 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Tendencia De Una Serie De Tiempo | 20 |
| 2. | Ciclo De Una Serie De Tiempo..... | 21 |
| 3. | Estacionalidad De Una Serie De Tiempo | 22 |
| 4. | Aleatoriedad En Una Serie De Tiempo..... | 23 |
| 5. | Curva De Adopción De Tecnología | 32 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Rango De Cargas Según Fuente De Energía..... | 29 |
| II. | Descripción De Las Variables | 38 |
| III. | Cronograma De Trabajo..... | 43 |
| IV. | Costos Estimados | 45 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|------------------------|---------------------------------|
| amp | Amperio |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| Km | Kilómetro |
| kW | Kilovatio |
| Li | Litio |
| MW | Megavatio |
| MWh | Megavatio hora |
| m | Metro |
| Ni | Níquel |
| % | Porcentaje |
| P | Potencia |
| TCO₂ | Toneladas de dióxido de carbono |
| X_t | Variable x en el tiempo t |
| W | Vatio |
| VAC | Voltaje de corriente alterna |
| VDC | Voltaje de corriente directa |

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|---|
| Aleatorio | Suceso que se da de forma casual, sin ninguna intervención u ordenamiento. |
| Automotor | Vehículo que puede movilizarse por acción de un motor de combustión. |
| Autonomía | En vehículos eléctricos se entiende como la capacidad de recorrido en kilómetros por carga completa de la batería. |
| Coefficiente | En estadística es un número que expresa la variabilidad de una variable. |
| Combustible regular | Gasolina que contiene, como mínimo, entre 87 y 88 octanos. |
| Combustible súper | Gasolina que contiene, como mínimo, 92 octanos. |
| Constructo | Grupo de variables complejas que no son directamente observables, por ejemplo, una estatura, estado civil, entre otras. |
| Cuantitativo | Característica de una variable a ser medida. |

| | |
|--------------------|--|
| Error | En estadística, es un valor que muestra el nivel de confianza de un cálculo. |
| Estadígrafo | Variable que define una distribución estadística. |
| Estimación | Proceso de cálculo de un valor o parámetro aproximado a partir de la aplicación de técnicas estadísticas. |
| Iterativo | Aplicación de métodos matemáticos para resolver un problema de forma sucesiva desde una estimación inicial. A la repetición de un método se le denomina iteración y cada resultado es utilizado para la siguiente iteración. |
| Likert | Herramienta de medición que permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad de una persona que está siendo encuestada. |
| Smog | Combinación de humo, niebla y diversas partículas que se encuentran en la atmósfera de lugares con elevados índices de contaminación. |
| Variable | Valor numérico de una característica que puede medirse u observarse. |
| SAT | Superintendencia de Administración Tributaria. |

Tensión

Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en voltios.

Vatio

Unidad de medida de potencia.

RESUMEN

El diseño de investigación plantea la construcción de un modelo para el pronóstico de vehículos eléctricos en Guatemala para el año 2030 a través del análisis de la serie de tiempo comprendida del año 2009 al año 2019.

El mercado de los vehículos eléctricos va en aumento año con año. Al buscar información sobre el crecimiento de estas unidades, en el país, no suele encontrarse información detallada, si bien, la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) publica mensualmente en su página una actualización de la base de datos del parque vehicular en Guatemala. No es específica para dicho sector de vehículos, únicamente puede encontrarse detalle para vehículos a gasolina, diésel, entre otros. Por esto que surge la necesidad de realizar un estudio para el comportamiento de crecimiento de estos vehículos.

El diseño propone utilizar la metodología Box Jenkins para determinar el modelo Arima que mejor se ajuste al comportamiento de la serie de tiempo de los datos proporcionados por la SAT y, así, construir el pronóstico.

Se espera obtener gráficas y datos que modelen el comportamiento de crecimiento de estos vehículos. El estudio podrá generar impacto en nuevas investigaciones relacionadas al tema al obtener un panorama de dicho sector automovilístico.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal es estimar el número de vehículos eléctricos en Guatemala para el año 2030. Mediante el análisis de la serie de tiempo de datos históricos de las cantidades de estos vehículos en el país. El estudio es innovador debido a que existen muy pocas investigaciones del tema. Tener una proyección de crecimiento de estas unidades a futuro beneficia de forma directa a muchos sectores como proveedores de energía eléctrica, entidades educativas, constructoras, gobierno, entre otros. Se espera que los resultados muestren el crecimiento o decremento de estas unidades para que dichos sectores puedan hacer uso de la información planteando proyectos factibles para el desarrollo del país.

En el primer capítulo, se presentan estudios sobre vehículos eléctricos y su introducción en otros países. Estos estudios muestran algunas variables que están directamente relacionadas con la introducción de estos vehículos dado que están catalogados como “tecnologías de innovación”. Se identificó que las personas que pueden optar por estas tecnologías se pueden dividir en 4 segmentos: innovadores, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados. Lo anterior es de suma importancia, ya que puede influir directamente en el crecimiento de este mercado.

En el segundo capítulo, se definen las teorías, ecuaciones y conceptos estadísticos a utilizar en el desarrollo del estudio para tener argumentos válidos en la interpretación de los resultados.

En el tercer y cuarto capítulo, se presentan las encuestas realizadas y la interpretación de los resultados. Las encuestas presentan las variables que afectan al modelo de predicción, luego se plantea la construcción del modelo y, finalmente, se muestran los escenarios de los modelos estadísticos que estiman el crecimiento de vehículos eléctricos para el año 2030, respondiendo de esta forma a los objetivos planteados al inicio del estudio.

2. ANTECEDENTES

Cada vez es más peligroso y difícil extraer petróleo de las profundidades de la corteza terrestre y al utilizar este recurso como una de las principales fuentes de energía se generan grandes emisiones de contaminantes al ambiente, por lo que el camino hacia las energías alternas es inevitable para frenar los efectos que generan los combustibles fósiles.

En Guatemala el sector transporte está en segundo lugar en cuanto al consumo de energía alcanzando 63 mil barriles de petróleo por día, es equivalente al 27 % del consumo total de energía del país (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

El sector transportes es responsable del 50 % de las emisiones totales anuales de Guatemala, esto es equivalente a 9 millones de toneladas de CO₂ (TCO₂). Según el informe de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT, 2016) el parque vehicular en Guatemala se distribuía de la siguiente forma: más del 45 % en el departamento de Guatemala y el resto varía entre 0.7 % y 6.8 %. Además, aproximadamente el 90 % de los vehículos son de pasajeros particulares, de este porcentaje el 98 % son de motores a gasolina o diésel y del anterior porcentaje el 56 % es demandado por combustible súper y regular. Al conocer estos valores y la proyección de vehículos eléctricos permitirá estimar la reducción de dichos contaminantes (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

En una publicación realizada por la Universidad Central de Venezuela se da a conocer algunos datos de rendimiento en donde indica que “la empresa

estadounidense Tesla, dedicada exclusivamente a producir vehículos eléctricos, lanzó al mercado en 2012 el modelo S, el cual tiene una autonomía de alrededor de 400 kilómetros, velocidad máxima superior a los 200 km/h y cero emisiones por uso” (Mercado y Córdova, 2014, p.8). Cada vez la tecnología desarrollada en estos vehículos hace que tengan más autonomía y, por ende, ser una mejor aceptación por los conductores, lo que afecta directamente las proyecciones de crecimiento.

En algunos estudios realizados para la estimación del crecimiento del mercado de vehículos eléctricos se han utilizado diferentes técnicas de estadística para su construcción. Existen muchos modelos estadísticos para pronósticos, así lo indica Moreno (2008):

Otros modelos más sofisticados como los modelos de series temporales propuestos por Box y Jenkins (como se cita en Box y Jenkins, 1976); modelos que involucran redes neurales, o las propuestas de los premios Nobel de economía del año 2003, entre ellos, Robert F. Engle, de series temporales con volatilidad variante en el tiempo (modelos ARCH) y los de Clive W. J. Granger desarrollados con tendencias comunes sobre modelos de cointegración. (p.3)

Así mismo, Moreno (2008) indica que:

Los métodos de regresión lineal, exponencial y parabólico, así como los de predicción con series cronológicas, se constituyen en la metodología clásica utilizada por la estadística para realizar estimaciones. Son muy usados gracias a su fácil comprensión e implementación. También poseen unas medidas que permiten valorar la calidad de las estimaciones, entre las que se encuentran el coeficiente de correlación, el coeficiente de

determinación y el error estándar de estimación, entre otros. Estos estadígrafos que miden la dependencia mutua entre las variables se deben calcular e interpretar de tal manera que se constituyen en el indicador principal para seleccionar el modelo a utilizar. (p.10)

Para realizar la proyección de penetración de los vehículos eléctricos es necesario tomar en cuenta variables primarias de acuerdo con el entorno económico, político, sociocultural, entre otros. Según el *Estudio de movilidad eléctrica en Chile* realizado por la Agencia de Sostenibilidad Energética se indica que:

La penetración de vehículos eléctricos en el mercado debe analizarse según los modelos de difusión de innovaciones y tecnologías de Roger & Moore, en donde de acuerdo con estos modelos se plantearon tres escenarios: Escenario por el desarrollo del mercado, Escenario orientado a la tecnología y el Escenario orientado al ambiente. En cada uno de los anteriores escenarios se toman diferentes parámetros para realizar la proyección. (EBP, 2018, p.4)

Comprender la teoría de Rogers y Moore acerca de la adaptación de la tecnología por las personas es fundamental para comprender las tendencias que podrían tomar los modelos, esta teoría ayudará al estudio para el planteamiento de los escenarios.

En otro estudio realizado por Morales (2014), sobre un modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá D. C., menciona que:

La penetración de una nueva tecnología puede hacerse mediante la dinámica de sistemas, algunas investigaciones realizadas por Dyner y Franco (como se cita en Dyner y Franco, 2005) en el sector eléctrico y

Baena (como se cita en Baena, 2011) han presentado algunas variables determinantes para la selección de una tecnología. Por ejemplo: costos de mantenimiento, tiempos de carga, incentivos por parte del gobierno, costos de vehículo y el crecimiento del parque automotor son variables utilizadas para construir los escenarios en ese estudio. (p.51)

Las variables mencionadas son de suma importancia para el estudio pues afectan directamente sobre la penetración del parque vehicular, por ejemplo: una nueva ley gubernamental para ayudar económicamente a una persona para adquirir un vehículo eléctrico afectaría directamente e incluso podría haber un crecimiento exponencial de estos vehículos, es por ello que es importante tomar en cuenta estas y otras variables dentro de la construcción del modelo de predicción.

En una investigación realizada en la Institución Universitaria Escolme de Medellín, Colombia, sobre identificar los principales factores que inciden en la aceptación de los vehículos eléctricos en dicha ciudad, se utilizó la metodología de enfoque mixto. Se realizó un cuestionario de 30 preguntas en una muestra de 280 personas a través de un tipo de muestreo no probabilístico y con el método de bola de nieve sin ninguna restricción más que ser mayor de edad. Se utilizó el software *SPSS Statistics* organizando y agrupando las variables de tipo constructo (numérica) con escala de medida de la variable (ordinal). Se creó una expresión numérica con la suma de las preguntas que hacían parte de cada constructo. A partir del anterior procedimiento se creó cada una de las variables o constructos agrupados (norma subjetiva agrupada, control agrupado, actitud agrupada, intención agrupada). Posteriormente, se les aplicó el método de Alpha de Cronbach, el cuál según Merino, es la diferencia entre coeficientes de consistencia interna, dicho de otro modo, es un coeficiente que permite medir la consistencia de una escala de medida. Además, se aplicó a cada constructo un

coeficiente de Alfa de Cronbach de 0.6, el cual es aceptable puesto que de acuerdo con Peterson. Esta medida puede ser suficiente en las primeras fases de la investigación, obteniendo de esta forma los resultados de la investigación. (Cardona, Arenas, Muñoz y Hernández, 2018)

Para la estimación del comportamiento del crecimiento y aceptación de los vehículos eléctricos es necesario analizar muchas variables de tipo cuantitativo. Un punto muy importante, al realizar estimaciones para este tema en particular, es el tipo de producto, por ejemplo, en el estudio realizado por la Agencia de Sostenibilidad Eléctrica de Chile 2018, al plantear diferentes escenarios para los modelos de predicción se toman en cuenta los modelos de difusión de innovaciones tecnológicas de Rogers. Estos modelos indican que, por ser un vehículo eléctrico, un producto de innovación tecnológica, la presencia de estos elementos (modelo de Rogers) o la mayoría dará más oportunidad para que se adopte dicho producto (EBP, 2018).

Así mismo, puede observarse que, en el estudio titulado *Identificar cuáles son los principales factores que inciden en la aceptación de los vehículos eléctricos en la ciudad de Medellín*, las preguntas de la encuesta se utiliza la escala *Likert*. Las preguntas son enfocadas para medir la aceptación del producto en donde se mide la intención de uso, facilidad de uso y utilidad percibida (Cardona, Arenas, Muñoz y Hernández, 2018). De los anteriores estudios se puede identificar que las técnicas para la estimación del crecimiento de vehículos eléctricos se pueden llevar a cabo a través del análisis de series de tiempo aplicando métodos de regresión lineal exponencial o parabólico; también a través de técnicas de muestreo no probabilístico mediante el método de bola de nieve utilizando software estadístico como SPSS *Statistics*.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La humanidad se enfrenta a una amplia diversidad de problemas ambientales causados por ella misma. Entre los más graves se cuentan los impactos sobre la atmósfera que son consecuencia de la combustión de los combustibles fósiles, la contaminación del aire urbano, la lluvia ácida y el calentamiento global (efecto invernadero), que están estrechamente vinculados al uso de esos recursos energéticos básicos (Tarbuck y Lutgens, 2005).

En Guatemala, el sector de transportes genera aproximadamente el 50% de las emisiones totales anuales de CO₂, que es el equivalente a 9 millones de toneladas. Debido a la facilidad para importar vehículos al país la contaminación del aire ha ido en aumento desde 2005 a 2016, ya que el parque vehicular en dicho periodo ha aumentado aproximadamente en un 162 % (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

3.2. Descripción del problema

El crecimiento y aceptación de vehículos eléctricos en Guatemala es un tema que no ha sido estudiado abundantemente, si bien el Instituto Nacional de Estadística, en sus informes proporcionados, da a conocer los índices de crecimiento de los transportes no es muy explícito, únicamente se dan a conocer los números de crecimiento o decremento por tipo de vehículos y no por la fuente

de energía principal. Así mismo, los informes presentados únicamente muestran resultados de datos de años anteriores, no existen proyecciones a futuro.

Según los informes del Ministerio de Energía y Minas el sector de transportes está en segundo lugar en cuanto a consumo de energía por consumo de petróleo. Estos datos, al igual que los datos del INE, únicamente muestran resultados de años anteriores (hasta 2016), tampoco se sabe si la tendencia será de crecimiento o decremento (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

Así mismo, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales reporta que el sector de transportes es el responsable de la emisión del 50% de contaminantes al ambiente. De igual manera, se desconoce si la tendencia es crecer o decrecer en la emisión de contaminantes (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

Evidentemente, es necesaria la migración a la utilización de energías más limpias como una estrategia de movilidad, ya que lejos de cubrir la necesidad de transportarse de un punto a otro representa beneficios al ambiente. El ciudadano, que es el foco principal de estudio por ser el usuario directo del transporte, está inmerso en una serie de barreras que podría impedirle optar por el uso de un vehículo eléctrico.

3.3. Formulación del problema

Pregunta central

¿Qué porcentaje de crecimiento tendrá el uso de los vehículos eléctricos en Guatemala respecto al parque vehicular en el año 2030?

Preguntas auxiliares

- ¿Cuál será el comportamiento del consumo de combustible del sector de transportes en Guatemala al año 2030?
- ¿Habrá impacto en la reducción de contaminantes emitidos en el ambiente por el sector de transportes al año 2030?
- ¿Qué diseño de encuesta es aceptable plantear para conocer la opinión de los conductores sobre el uso de vehículos eléctricos en Guatemala?

3.4. Delimitación del problema

La cantidad de vehículos eléctricos en Guatemala es el foco de estudio. Se analizará la base de datos proporcionada por la SAT y, luego, a través de la serie de tiempo comprendida del año 2009 al 2019, se procederá a realizar la construcción del modelo de pronóstico.

4. JUSTIFICACIÓN

Para realizar la proyección del pronóstico de crecimiento de los vehículos eléctricos en Guatemala se realizará un análisis a través de la serie de tiempo comprendida del año 2009 al 2019 tomando como marco referencial la base de datos proporcionada por la SAT. Los métodos cualitativos son fundamentales para la formulación del pronóstico para predecir cambios en el patrón de los datos históricos. Se realizará una encuesta, para la formulación de las preguntas se tomarán en cuenta los modelos de difusión de innovaciones de Rogers. Se utilizará estadística descriptiva para el análisis y ordenamiento de los datos, software como Excel, SPSS, entre otros.

Para la estimación se plantearán varios escenarios como de referencia, pésimo, promedio y optimista. En el análisis de las series de tiempo se tomarán en cuenta varias técnicas cualitativas para ajustar la curva subjetiva basada en tipo de producto tecnológico-innovador. Con los resultados diversos sectores podrán hacer uso de la información según el sector de interés, principalmente la industria eléctrica, obra civil, educación, gobierno, entre otros.

Algunas limitantes para la adopción de esta tecnología es que actualmente los conductores conocen muy poco o se tiene la idea que recargar un vehículo eléctrico es más caro que gastar en combustible. El estudio servirá, no solo para conocer la tendencia de crecimiento de los transportes eléctricos, sino que el gobierno pueda tomar acciones para promover esta energía limpia dirigida al usuario y a la industria eléctrica. Se busca la forma de generar opciones económicas para su uso, sin decir que la industria eléctrica deberá prepararse en las instalaciones de líneas de transmisión para suministrar la demanda de

energía que va a provocar el uso de estos vehículos. Adicionalmente, se podrá proyectar el impacto en la emisión de contaminantes por el sector de transportes.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Estimar la proyección de crecimiento de los vehículos eléctricos en Guatemala para el año 2030 a través del análisis de la serie de tiempo comprendida del año 2009 al 2019 aplicando la metodología Box-Jenkins para identificar, ajustar y verificar el modelo Arima que se utilizará para el pronóstico.

5.2. Específicos

- Estimar el comportamiento de consumo de combustible del sector de transportes en Guatemala al año 2030 a través del análisis de la serie de tiempo utilizando la técnica de medias móviles para proyectar la gráfica y así estimar el pronóstico.
- Pronosticar la reducción de contaminantes emitidos al ambiente debido a la utilización de vehículos eléctricos al año 2030 mediante el análisis de la serie de tiempo aplicando el método de suavización exponencial para graficar la curva decreciente y estimar el pronóstico.
- Proponer el diseño de una encuesta para medir la aceptación del uso de vehículos eléctricos en Guatemala utilizando el método de medición por cuestionarios auto aplicados y el teorema de Rogers & Moore para la aceptación de nuevas tecnologías.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Al conocer la tendencia de crecimiento de los vehículos eléctricos en Guatemala se podrá tener una proyección de participación en el parque vehicular. Se podrá proyectar sobre el consumo de energía eléctrica, así como el consumo de petróleo del sector transportes. Se tendrá un panorama del impacto ambiental debido a las emisiones de contaminantes al ambiente. El sector educativo deberá tomar decisiones sobre cómo podrían cambiar los pensum de estudios debido a la introducción de nuevas tecnologías. El gobierno tendrá una proyección para incentivar a los usuarios para la migración al uso de energías alternas. La industria eléctrica tendrá un panorama para saber, si es necesario, realizar cambios en la red de distribución eléctrica.

Los datos se tomarán de la base de datos emitida en el portal de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT). A través del análisis de series de tiempo del año 2009 al 2019 ordenando los datos por periodos de tiempo que, en este caso se hará anual. Se analizarán las variaciones en el tiempo determinando si existen variaciones sistemáticas y aleatorias. Por el tipo de estudio se espera que la tendencia sea de tipo secular. Luego de identificar las variables que pueden afectar al modelo de pronóstico, se procederá a construir el modelo estadístico que describa la relación entre las variables que afectan a la aceptación de vehículos eléctricos y la variable de crecimiento. Para detectar las variables de aceptación se procederá a realizar una encuesta, a través de las técnicas de muestreo y mediante los modelos de difusión de innovación de Rogers se construirán las preguntas en escala Likert. Finalmente, el modelo estadístico definido se proyectará el comportamiento de crecimiento del sector de vehículos eléctricos y se proyectará una estimación para el consumo de combustible.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Fundamentos estadísticos

En esta sección se presentan los principales temas para el desarrollo y construcción del modelo de predicción.

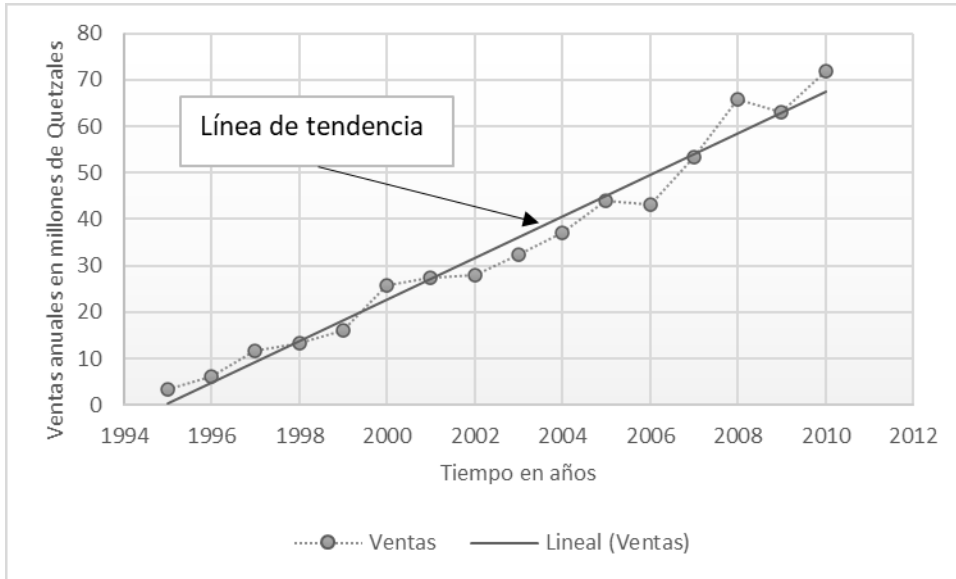
7.1.1. Series de tiempo

Una serie temporal consiste en el registro de cualquier cantidad de datos fluctuantes medidos en diferentes puntos del tiempo. El análisis y el modelado son dos aspectos de estudio de las series de tiempo; el primero, con el objetivo de resumir y remarcar las características de la serie y el segundo aspecto es con el objetivo de predecir valores a futuro (Abril, 2011, p. 1).

7.1.2. Tendencia

De acuerdo con lo que mencionan Levin y Rubin (2014), “Se define como el valor de la variable cuando tiende a aumentar o disminuir en un periodo muy largo” (p. 675). Como puede observarse en la figura 1, el ingreso de ventas anuales de una empresa a pesar que tiene puntos altos y bajos todos siguen una tendencia positiva a crecer en el tiempo, la línea de tendencia muestra la cualidad de esta gráfica, si fuera el caso contrario en donde los valores de ventas iniciaran con un valor alto pero los valores sucesivos fueran cada vez más pequeños que el anterior entonces se podría observar una tendencia negativa.

Figura 1. **Tendencia de una serie de tiempo**

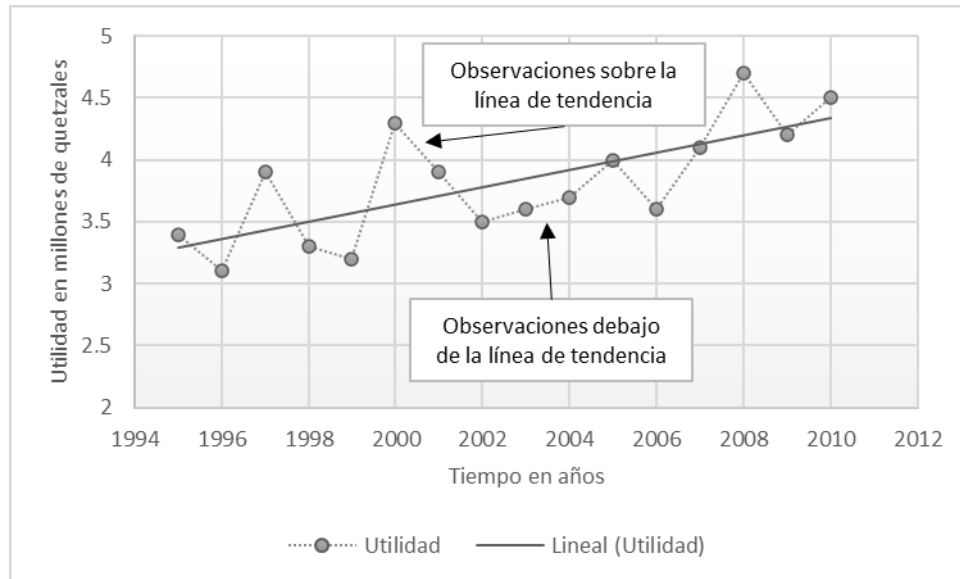


Fuente: elaboración propia.

7.1.3. **Ciclo**

De igual manera, Levin y Rubin (2014) mencionan que “El ciclo en una serie de tiempo es la fluctuación que pueda tener la variable, en algunos momentos estará arriba de la línea de tendencia y en otros estará debajo de dicha línea, dichos patrones cíclicos no siguen ningún patrón regular, sino que se mueven de manera un tanto impredecible” (p. 676). Como puede observarse en la Figura 2, los valores de la utilidad varían constantemente a lo largo del tiempo, así mismo puede observarse que tal variación no sigue un patrón específico pues las observaciones debajo de la línea de tendencia en algunos años van desde una hasta tres observaciones, no sucede lo mismo en el caso de las observaciones sobre la línea de tendencia.

Figura 2. **Ciclo de una serie de tiempo**

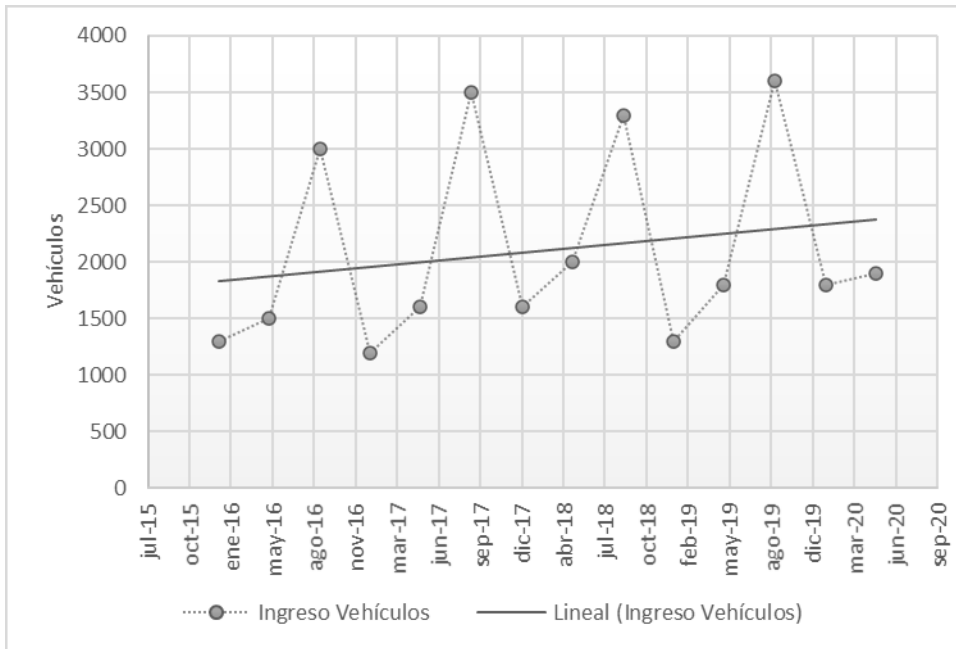


Fuente: elaboración propia.

7.1.4. **Estacionalidad**

“Este tipo de variación implica patrones de cambio en el lapso de un año que tienen a repetirse anualmente, por ejemplo, un médico puede esperar un aumento sustancial en el número de casos de gripe cada invierno y de afectados de tifoidea cada verano” (Levin y Rubin, 2004, p. 676). Como se puede observar en la Figura 3, se muestra el ingreso de vehículos a un parqueo de un centro comercial de forma trimestral con datos de tres años, es totalmente notable que en los tres años para el tercer trimestre siempre se tiene un elevado número de ingresos al parqueo y, al analizar más detalladamente la gráfica puede observarse que el primer trimestre muestra un comportamiento similar en todos los años, a esto es a lo que se le llama estacionalidad.

Figura 3. **Estacionalidad de una serie de tiempo**

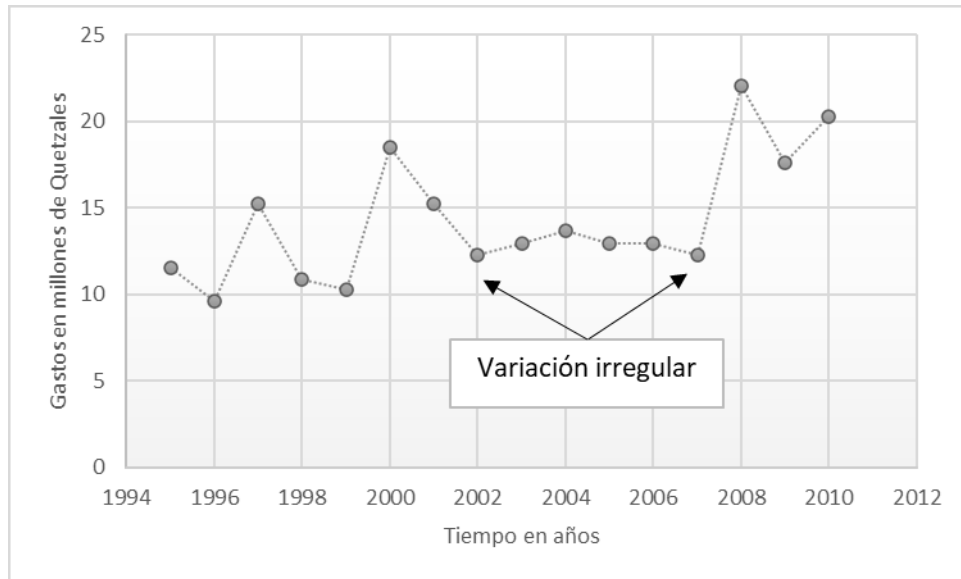


Fuente: elaboración propia.

7.1.5. Aleatoriedad

La aleatoriedad es una variación en los datos de forma irregular. En muchas situaciones estas variaciones pueden ser completamente impredecibles, variando por completo la serie. Como se puede observar en la Figura 4, los gastos de una empresa a lo largo del tiempo no han presentado un comportamiento uniforme, a pesar de que los valores suben y bajan todos los años no muestra un comportamiento definido, estos valores aleatorios pueden darse por diversas razones, ya sean gastos no contemplados, crisis, nuevos proyectos o cualquier otro tipo de suceso que en general hacen que la serie presente un comportamiento bastante irregular en todo el periodo de tiempo.

Figura 4. Aleatoriedad en una serie de tiempo



Fuente: elaboración propia.

7.1.6. Principio de parsimonia

“Es el requerimiento que ante modelos matemáticos estadísticos igualmente buenos se debe preferir el que tenga menor número de parámetros, es decir, ante dos modelos igualmente aceptables se debe elegir aquel que sea más parsimonioso” (Abril, 2011, p.28).

7.1.7. Procesos estocásticos

En una serie temporal graficada en un eje x, y de acuerdo con el estudio de Franco, Páez, Sánchez y Bernal (2015), titulado *Modelos Probabilísticos*, establecen que:

Un proceso estocástico es una colección o familia de variables aleatorias ordenadas. Por tanto, para cada instante de tiempo t tendremos una variable aleatoria distinta representada por X_t , con lo que un proceso estocástico puede interpretarse como una sucesión de variables aleatorias cuyas características pueden variar a lo largo del tiempo. A los posibles valores que puede tomar la variable aleatoria se le denominan estados por lo que se puede tener un espacio de estados discreto y un espacio de estados continuo. Por otro lado, la variable tiempo puede ser de tipo discreto o de tipo continuo. En el caso del tiempo discreto se podría tomar como ejemplo que los cambios de estado ocurran cada día, cada mes, cada año, entre otros. En el caso del tiempo continuo, los cambios de estado se podrían realizar en cualquier instante. (p. 4)

7.1.8. Autocorrelación

La autocorrelación se define como la relación mutua existente entre valores de una serie de tiempo en diferentes periodos y describe lo que tiende a sucederle a un valor si se da un cambio en el otro. (Cortés, 2011)

Matemáticamente este grado de correlación puede calcularse mediante una ecuación o a través de un software estadístico, en cualquier caso, si el valor R es cercano a $+1$ quiere decir que la relación es fuerte, por el contrario, si el valor de R es cercano a 0 indicaría que los valores no están relacionados. La expresión para calcular el valor de R es la siguiente:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}$$

Donde r_k es el coeficiente de autocorrelación simple para un retraso de k periodos, \bar{Y} la media de los valores de la serie, Y_t las observaciones en el periodo t , Y_{t+k} la observación en el periodo con k retrasos y n el número total de periodos.

7.1.9. Prueba de Helmert

Consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento P_{ij} de la serie j para $i = 1, 2, 3$, n_j con respecto a su valor medio P_j . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una frecuencia S , si de lo contrario se considera como un cambio C (Gómez, 2012). La serie se considera homogénea si cumple con lo siguiente:

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1}$$

7.1.10. Prueba T student

Cuando la causa probable de la prueba de homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t es muy útil. Si se considera una serie P_{ij} para $i = 1, 2, 3$, n del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = n_j/2$ (Gómez, 2012). La prueba queda definida con la siguiente expresión:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

7.1.11. Metodología Box-Jenkins

La metodología Box-Jenkins se basa en la construcción de modelos iterativos para realizar pronósticos, se inicia postulando un modelo, si este no cumple entonces el proceso se repite utilizando un nuevo modelo que está diseñado para mejorar el anterior. La forma de probar los modelos es evaluando los datos históricos de la serie y verificar si coinciden los valores. Para identificar el modelo inicial se debe analizar la serie de tiempo puesto que la metodología plantea diferentes modelos en función al comportamiento de los datos, así un modelo ARMA es recomendado utilizarlo en series en donde las diferencias $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ varían aproximadamente en un valor fijo. También están los modelos ARIMA recomendados para series de tiempo no estacionales, en cualquier caso, siempre debe aplicarse el principio de parsimonia con el objetivo de obtener el modelo más sencillo siempre y cuando describa satisfactoriamente los datos históricos (Hanke y John, 2010).

7.2. Vehículos eléctricos y ambiente

Los contaminantes en el aire no solo ponen en peligro la salud y bienestar de los organismos, también perjudican directamente a la naturaleza. En el caso de los vehículos con motores de combustión interna tanto diésel como gasolina cuando emiten óxidos de nitrógeno al ambiente y estos reaccionan en presencia de la luz se crea el *smog* (Tarbuck y Lutgens, 2005). En el caso de los vehículos eléctricos por su principio de funcionamiento no emiten gases al ambiente ya que son impulsados por la rotación de un motor eléctrico, aunque una de las desventajas frente a los automotores es el tema de la autonomía ésta ha ido mejorando con el tiempo, superando así las expectativas de los usuarios.

7.2.1. Dióxido de carbono y calentamiento global

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas que se encuentra de forma natural en la atmósfera y que está aumentando como consecuencia de la quema de los combustibles.

Cuando una porción de la energía que abandona el suelo es absorbida por el dióxido de carbono y posteriormente reemitida en parte hacia la superficie, manteniendo con ello más caliente el aire que está cerca del suelo de lo que estaría sin dióxido de carbono se llama calentamiento global. (Tarbuck y Lutgens, 2005, p.596)

Dicho calentamiento global generado de los gases emitidos al ambiente ya sea de los vehículos, procesos industriales, entre otros, son los que contribuyen al cambio climático, es por ello que se debe migrar a la utilización de energías más limpias para el sostenimiento del medio ambiente.

7.2.2. CO₂ emitido al ambiente por el sector transporte en Guatemala

En el estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, titulado *Fuentes móviles en ruta de Guatemala y los gases de efecto invernadero año base 2013*, se indica que:

Existe un cambio hacia el incremento de las emisiones de CO₂ en orden de 15.31 % respecto al año base 2011, esto es equivalente a 12,434,057 toneladas métricas de CO₂ para ese año, de dicha cantidad el 99.801 % corresponden a emisiones de dióxido de carbono, el 0,181 % corresponden a emisiones de metano y 0.001 % corresponden a emisiones de óxido nitroso. (MARN, 2013, p.14).

De las cantidades descritas de CO₂ hasta en ese momento se desconoce de cuanto porcentaje aproximadamente es responsable el sector de transportes.

7.2.3. Movilidad sostenible y tendencias

Las personas están cambiando el concepto de necesitar un vehículo a necesitar movilizarse de un punto a otro y hacerlo de una forma sostenible en donde se pueda preservar el medio ambiente generando la menor cantidad de emisiones, a esto es a lo que se le llama movilidad sostenible. El concepto es un término relativamente reciente, debido a las tendencias de las nuevas generaciones en conjunto con tecnología y medio ambiente se deriva este concepto. “La movilidad necesita de nuevas soluciones compatibles con la sostenibilidad medioambiental y la integración de las diferentes demandas de los ciudadanos” (Hernández, 2019, p.12).

7.2.4. Vehículo eléctrico

Técnicamente estos vehículos utilizan un motor eléctrico para la propulsión de las ruedas, de esta manera no utilizan ningún tipo de combustible para generar la tracción, ecológicamente son una excelente opción para la preservación del medio ambiente puesto que no emiten gases al ambiente. Debido que la batería provee de energía al motor eléctrico es necesario realizar la recarga de esta en algún momento, para ello estos vehículos cuentan con un enchufe para conectarse a un punto de recarga, para alargar el tiempo de necesidad de recarga algunos vehículos cuentan con un sistema llamado freno regenerativo el cual sirve para generar energía eléctrica a través de las revoluciones en el frenado de motor, por ejemplo en una pendiente hacia abajo cuando se aplica el freno de motor esas sobre revoluciones son tomadas por el sistema transformándolo así

en energía eléctrica aprovechando de forma inteligente esa energía que un vehículo convencional es desperdiciada (López y Galarza, 2017).

7.2.5. Puntos de recarga

Los puntos de recarga son fuentes de energía eléctrica para recargar la batería de un vehículo eléctrico. Estos puntos varían en función a la rapidez de recarga de la batería, dependen directamente de la potencia de la conexión eléctrica con la que cuentan, algunos proveedores hacen esta distinción por niveles, por ejemplo: con 20 minutos de recarga podría recorrerse de 80 a 113 kilómetros, eso correspondería a un punto de carga de nivel 3. Si por una hora de recarga se ofrece un recorrido de entre 16 y 32 kilómetros correspondería a un punto de carga de nivel 2 y así sucesivamente (National Plattform Elektromobilität, 2014). Se muestran algunos ejemplos en la siguiente tabla:

Tabla I. **Rango de cargas según fuente de energía**

| Nivel de carga | Fuente de energía | Poder de carga | Rango por hora de carga (Km) | Tiempo de carga (de vacío a completo) |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Nivel 1 | 120 VAC (Fase simple) | 1.4 kW a 12 amp (on-board charger) | 4.5 a 6.5 | 17 horas |
| Nivel 2 | 240 VAC (Fase simple hasta 19.2 kW) | 3.3 kW (on-board) | 13 a 16 | 7 horas |
| | | 6.6 kW (on-board) | 27 a 32 | 3.5 horas |
| Nivel 3 | 200 – 450 VDC (hasta 90 kW) | 45 kW (off-board) | 80.5 a 96.5 (80% por carga de 0.5 horas) | 30 a 45 minutos (hasta 80%) |

Fuente: elaboración propia.

7.2.6. Autonomía

A la capacidad de recorrer distancia por cada carga completa de la batería en un vehículo eléctrico se llama autonomía, misma que está relacionada directamente con la batería que mantiene la carga, inicialmente este tema era un punto débil pero con el tiempo los fabricantes han logrado aumentar la autonomía cada vez más en estos vehículos, así un descubrimiento importante realizado por la Universidad Dalhousie de Canadá concluye que “las células de iones de litio de densidad de energía moderada deberían poder alimentar a un vehículo eléctrico por más de 1.6 millones de kilómetros y durar al mínimo 2 décadas en almacenamiento de energía de la red” (Harlow, Ma, Li, Logan, Liu, Zhang, Glazier, Cormier *et al.* 2019, p. 3034). Descubrimientos de este tipo harán sin duda que los vehículos eléctricos sean las mejores opciones para movilidad a medida que pasa el tiempo.

7.2.7. Factores que influyen en la compra de un vehículo eléctrico

Son varios los factores que podrían influir en la decisión de compra de un vehículo eléctrico, como, por ejemplo: disponibilidad de puntos para recarga de la batería, tráfico de la ciudad en donde se utilice, conocimiento del producto, diseño del vehículo, costo, mantenimiento, entre otros, dichos o variables cuantitativas pueden ser medibles a través de una encuesta y técnicas estadísticas.

7.2.8. Mantenimiento

Los mantenimientos dependerán de cada vehículo. En forma generalizada, estos vehículos no requieren cambios periódicos de aceite de motor, filtros de

aceite de motor, filtros de combustible, bujías, entre otros, debido a que no los utilizan. Aun así, las piezas que están sujetas a desgaste como neumáticos, frenos, tren delantero, si deberán inspeccionarse regularmente. Por lo anterior los costos de mantenimiento son significativamente menores al de un vehículo convencional.

7.2.9. Promoción de la movilidad eléctrica

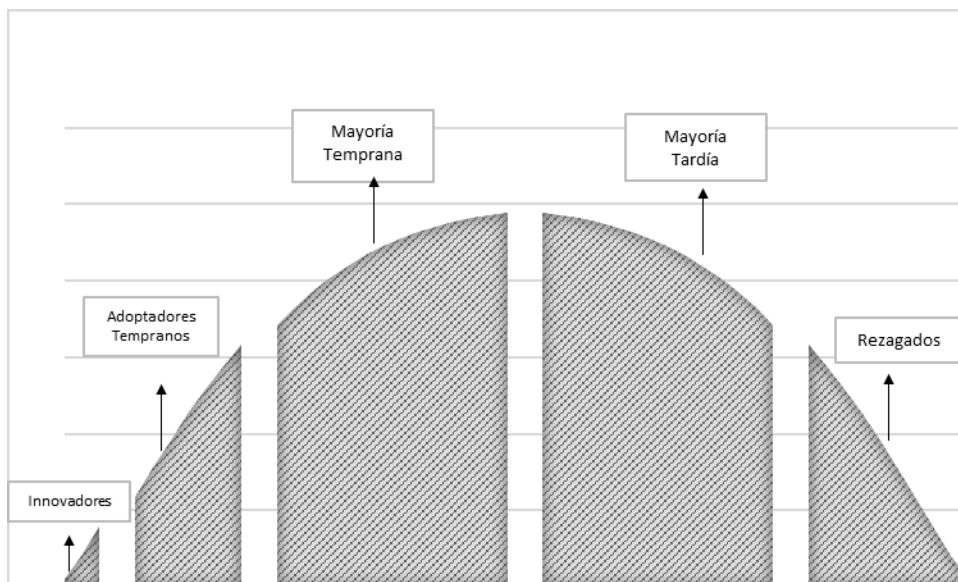
Para promover el tema de la movilidad eléctrica en Guatemala es necesario que se desarrollen políticas. En algunos países los gobiernos incentivan a los usuarios de diferentes formas, desde darles un bono por la compra de un vehículo eléctrico hasta simples anuncios en vallas o internet. Así mismo, es necesario que exista una buena relación entre las instituciones que se dedican a investigación y desarrollo, universidades que promuevan este tema incentivar a los conductores a conocer esta opción de transporte.

7.2.10. Adopción de nuevas tecnologías

“Uno de los problemas para la introducción de vehículos eléctricos es el hecho que los consumidores quieran o necesiten comprarlos” (Moore, 2015). Para algunas personas el hecho de adquirir un vehículo eléctrico podría verse afectado más por factores tangibles como el diseño o la autonomía por poner dos ejemplos, pero habrá otras personas que ni siquiera les llegue a interesar adquirir un vehículo de este tipo por el hecho que son modelos de una tecnología totalmente diferente a las tecnologías de los vehículos convencionales. Así Moore (2015) en su libro *Cruzando el Abismo* hace una clasificación de estas personas de la siguiente manera:

Los innovadores buscan ansiosamente nuevos productos tecnológicos. Los adoptadores tempranos compran el concepto de producto nuevo, pero a diferencia de los innovadores no son tecnológicos. Los llamados mayoría temprana esperan hasta ver cómo les va a otros antes de decidirse comprar, quieren tener referencias bien establecidas antes de realizar inversiones sustanciales. La mayoría tardía esperan hasta que las cosas se asientan como estándares, y aún con ello esperan contar con mucho apoyo. Y finalmente los rezagados son personas que simplemente no quieren tener nada que ver con tecnologías nuevas por diversos motivos, la única ocasión en la que compran algún producto tecnológico es cuando viene profundamente alojado en otro de modo que muy probablemente ni saben que está allí. (p. 31)

Figura 5. **Curva de adopción de tecnología**



Fuente: elaboración propia.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Estudios previos

1.2. Marco contextual

2. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Series de tiempo

2.1.2. Tendencia

2.1.3. Ciclo

2.1.4. Estacionalidad

2.1.5. Aleatoriedad

2.1.6. Principio de parsimonia

2.1.7. Procesos estocásticos

- 2.1.8. Autocorrelación
- 2.1.9. Prueba de Helmer
- 2.1.10. Prueba de T student
- 2.1.11. Metodología Box-Jenkins
- 2.2. Vehículos eléctricos y ambiente
 - 2.2.1. Dióxido de carbono y calentamiento global
 - 2.2.2. CO2 emitido al ambiente por el sector transporte en Guatemala
 - 2.2.3. Movilidad sostenible y tendencias
 - 2.2.4. Vehículo eléctrico
 - 2.2.5. Puntos de carga
 - 2.2.6. Autonomía
 - 2.2.7. Factores que influyen en la compra de un vehículo eléctrico
 - 2.2.8. Mantenimiento
 - 2.2.9. Promoción de la movilidad eléctrica
 - 2.2.10. Adopción de nuevas tecnologías

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Base de datos
- 3.2. Vehículos eléctricos en Guatemala 2009 al 2019
- 3.3. Análisis de la gráfica
- 3.4. Cálculo de los coeficientes del modelo
- 3.5. Selección del modelo de pronóstico
- 3.6. Construcción del modelo
- 3.7. Prueba del modelo
- 3.8. Análisis de error del modelo
- 3.9. Pronóstico de vehículos eléctricos
- 3.10. Pronóstico de comportamiento del consumo de combustibles

- 3.11. Impacto en la reducción de contaminantes por el uso de vehículos eléctricos
- 3.12. Definición de variables a estudiar en la encuesta
- 3.13. Diseño del cuestionario
- 3.14. Definición de la población objetivo
- 3.15. Tamaño de la muestra
- 3.16. Método de medición
- 3.17. Recolección de datos
- 3.18. Análisis de datos
- 3.19. Propuesta del diseño de encuesta

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio es mixto, ya que se recopilará y analizará la serie de datos de años anteriores sobre los vehículos eléctricos que circulan en Guatemala. Se construirá un modelo que estime la tendencia de crecimiento en los siguientes años a través de diferentes escenarios.

El alcance será exploratorio, correlacional y explicativo, dado que la movilidad eléctrica en Guatemala se ha estudiado muy poco se procederá a investigar la base de datos de la SAT en donde podrá observarse la forma de clasificación de estos transportes. Se construirá la serie temporal de unidades por año. Por último, se explicarán las hipótesis obtenidas.

El diseño adoptado será observacional, pues la información acerca de la estimación para la tendencia de crecimiento de los vehículos eléctricos en Guatemala se analizará en su estado original sin ninguna manipulación. Será transversal, ya que se planea realizar una encuesta a distintos usuarios de transporte para complementar la explicación del modelo de crecimiento, esto ayudará a la construcción de los escenarios propuestos para dicho modelo. Se analizará la serie de tiempo antes mencionada y complementará con los resultados de la encuesta para concluir la tendencia de crecimiento.

9.2. Unidades de análisis

La muestra en estudio será la base de datos de la SAT sobre los vehículos activos inscritos, la cual se encuentra dividida en subgrupos dadas por el tipo de

energía que moviliza los transportes, es decir, vehículos a gasolina, diésel, híbridos y eléctricos. Se extraerán muestras de forma filtrada únicamente para vehículos eléctricos que serán estudiadas en su totalidad.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla II. Descripción de las variables

| Variable | Definición teórica | Definición operativa |
|---|---|---|
| Variable dependiente: vehículo eléctrico | Es un transporte que utiliza uno o varios motores eléctricos para generar movimiento a partir de la energía eléctrica almacenada en baterías. | Número de unidades en un periodo de tiempo. |
| Variable independiente: año | Periodo que comprende del 1 de enero al 31 de diciembre. | Unidades de la variable independiente de la serie de tiempo. |
| Variable dependiente: tamaño de la muestra | Elementos de una población. | Cantidad de elementos necesarios de la población para obtener datos confiables. |
| Variable independiente: muestra | Objetos, personas o cosas que pertenecen a una población y que será utilizado para realizar análisis estadísticos. | Conjunto de una población que se extrae para análisis estadístico. |

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

A continuación, se describen las fases propuestas para el desarrollo, en todas las fases de construcción de modelos se considera la utilización de programas estadísticos como SPSS, Infostat, R, Excel, entre otros, se utilizará el que mejor se adecúe en el proceso o se utilizaran de forma mixta.

9.4.1. Fase 1

La primera fase consiste en obtener la base de datos, para ello se hará la solicitud formal a la Superintendencia de Administración Tributaria, tras haber obtenido el documento se trabajarán los datos de forma que se puedan contabilizar las unidades de vehículos eléctricos de uso particular que estén en estado activo y que se hayan inscrito por cada año desde el 2009 al 2019, con las unidades por año se procederá a construir una tabla resumen y con ello la respectiva gráfica de la serie de tiempo de unidades por año.

9.4.2. Fase 2

En esta fase se analizará la serie de tiempo obtenida de los datos, se verificará estacionalidad, periodicidad, tendencia, aleatoriedad, entre otros. Luego de tener un análisis claro de la serie se seleccionará un modelo de los propuestos en la metodología Box-Jenkins que se ajuste al análisis de la serie, para ello se estimarán todos los parámetros del modelo como la suma de cuadrados de los errores de ajuste, los parámetros que sean considerados significativamente diferentes de cero se conservarán en el modelo ajustado y los que no sean significativos se eliminarán, tras haber calculado todos los parámetros se procederá a construir la ecuación que describe el modelo. Una vez obtenida la ecuación se procederá a verificar el modelo, para ello se

realizarán pruebas de autocorrelación, además de evaluar los valores de la serie histórica en donde se debe obtener un valor estimado al real, si en la realización de pruebas se determina que el modelo no es adecuado se procederá a construir uno nuevo hasta encontrar el más idóneo para el pronóstico.

9.4.3. Fase 3

Una vez determinado el modelo adecuado se procederá a elaborar pronósticos para años futuros, en este caso el objetivo es al año 2030. Una vez obtenido el pronóstico se podrá responder al objetivo general de esta investigación, así mismo con la cantidad en unidades de vehículos eléctricos pronosticada se podrá estimar el consumo de combustible que representan estas unidades y así pronosticar no solo el impacto en la reducción de consumo si no que a la vez también la reducción de contaminantes emitidos al ambiente que representan ese pronóstico de unidades de vehículos eléctricos respondiendo así a los objetivos específicos 1 y 2.

9.4.4. Fase 4

Se finaliza el estudio proponiendo un diseño de encuesta que pueda ser utilizado para detectar las variables que afectan en el crecimiento del parque vehicular eléctrico como, por ejemplo: el precio, puntos de carga, diseño de los vehículos, conocimiento de la tecnología en vehículos eléctricos, entre otros. Para ello se diseñará el cuestionario adecuado que pueda ser utilizado en una encuesta para tal fin.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Series de tiempo: una vez obtenida la base de datos de la SAT se graficarán los datos históricos de los últimos 10 años de los vehículos eléctricos en Guatemala. Primero, se hará un análisis visual de la gráfica obtenida. Se verificará la consistencia de los datos aplicando la prueba de homogeneidad de Helmert. Se analizará la tendencia de los datos a través de la aplicación de la herramienta de gráficos de dispersión en Excel y aplicando el modelo de regresión lineal se obtendrá el valor de R^2 para analizarlo y verificar que tanta correlación tiene el modelo propuesto por el programa, luego de haber obtenido la gráfica se analizará, se realizarán pruebas para verificar estacionalidad, pruebas de normalidad, entre otras. Con los resultados se procederá a seleccionar uno de los modelos propuestos en la metodología Box-Jenkins, tras haber construido el primer modelo se probará evaluando los valores históricos de la serie y se verificará el error, si el modelo no es funcional se procederá a construir otro modelo, cuando el modelo final sea el más adecuado se procederá a realizar el pronóstico para años futuros.

Técnicas de muestreo: se diseñará una encuesta proponiendo las variables a medir en el cuestionario. Se propondrá la forma de ordenar las preguntas para que no afecte en la respuesta de los encuestados, es decir el cuestionario estará diseñado por categorías. Se propondrá la población objetivo para tener información útil, de igual manera, el método de medición en función a tecnologías disponibles, finalmente se detallará la forma de analizar los datos para que la persona, institución u otro ente que desee realizar el estudio pueda obtener información útil y estimaciones más certeras.

11. CRONOGRAMA

Tabla III. Cronograma de trabajo

| Actividad | Semanas del año 2020 | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Solicitud de base de datos a SAT. | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Gráfica de la serie. | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| Análisis de la serie de datos, tendencia y estacionalidad. | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Primera reunión con asesor. | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Detección de las variables que afectan la adquisición de un vehículo eléctrico. | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Construcción del modelo. | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Validación y pruebas del modelo. | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Segunda reunión con asesor. | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| Presentación del informe final al asesor y correcciones. | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Presentación del informe final en Escuela de Postgrado. | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar el proyecto se pretende invertir en recurso humano e internet, puesto que la base de datos se obtendrá de la SAT y, luego, todo el trabajo será realizado por el investigador y los softwares a utilizar están disponibles en la red de forma gratuita, por lo anterior se desglosan los costos a continuación.

Tabla IV. **Costos estimados**

| No. | Actividad | Costo |
|--------------|--|-------------------|
| 1 | Base de datos SAT | Q - |
| 3 | Recurso humano para el desarrollo de todo el trabajo | Q 7,000.00 |
| 4 | Uso de internet para consultas | Q 900.00 |
| TOTAL | | Q 7,900.00 |

Fuente: elaboración propia.

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

13. REFERENCIAS

1. Abril, J. (Diciembre, 2011). Análisis de la evolución de las técnicas de series de tiempo, un enfoque unificado. *Revista Consejo Nacional de Investigaciones, Científicas y Técnicas*, 63(181), 5-56. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/71449/CONICET_Digital_Nro.322dc4e5-5f6b-4c40-a236-7b9344351a4a_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
2. Bowerman, B., O'connell, R., y Koehler, A. (2007). *Pronósticos, series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicado*. México D.F., México: Cengage Learning.
3. Cardona, L., Arenas, E., Muñoz, Z., y Hernández, J. (Julio, 2018). Identificar cuáles son los principales factores que inciden en la aceptación de los vehículos eléctricos en la ciudad de Medellín. *Revista CIES*, 9(1), 66-81. Recuperado de <http://www.escolme.edu.co/revista/index.php/cies/article/download/185/206>
4. Cortés, J. (2011). *Aplicación de series de tiempo en el monitoreo estructural* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/363?show=full>

5. Fundación Ernst Basler y Partner (2018). *Electromovilidad Proyección y Propuestas para Avanzar*. Chile: Autor.
6. Gómez, A. (2012). *Determinación de los cambios del patron de lluvias debido a la preseencia de embalses, estudio del sistema Grijalva* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de México, México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5258/tesis.pdf?sequence=1>
7. Harlow, J., Xiaowei, M., Jing, L., Logan, E., Yulong, L., Ning, Z., . . . Jamie, S. D. (2019). A Wide Range of Testing Results on an Excellent Lithium-Ion Cell Chemistry to be used as Benchmarks for New Battery Technologies. *Journal of The Electrochemical Society*, págs. A3031-A3044. doi: 10.1149/2.0981913jes
8. Hernández, L. (1 de junio, 2019). Movilidad Sostenible e Inteligencia Artificial. *Periódico Conecta Industria*, p.12.
9. Levin, R., y Rubin, D. (2004). *Estadística para administración y economía*. México D.F., México: Pearson Education. Recuperado de <https://profefily.com/wp-content/uploads/2017/12/Estad%C3%ADstica-para-administraci%C3%B3n-y-economia-Richard-I.-Levin.pdf>
10. Martínez, J. (1 de junio, 2019). Movilidad 4.0. *Periódico Conecta Industria*, p.3.

11. Mercado, A., y Córdova, K. (Enero, 2014). Desarrollo tecnológico en baterías e impulsión eléctrica ¿Sistemas tecnológicos disruptivos promovidos por imperativos ambientales?, *Revista CENDES*, 31(85), 1-21. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/403/40331800002.pdf>
12. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2013). *Fuentes Móviles en Ruta de Guatemala y los Gases de Efecto Invernadero, año base 2013 (Una Perspectiva y una Aproximación)*. Guatemala: Pérez, A.
13. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2017). *Informe Ambiental del Estado de Guatemala 2016*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/8879.pdf>
14. Ministerio de Energía y Minas (2016). *Consumo de productos derivados de petróleo*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2016/05/C02-Consumo.pdf>
15. Moore, G. (2015). *Cruzando el abismo*. Barcelona, España: Harper Business. Recuperado de https://www.planetadelibros.com/libros_contenido_extra/31/30673_Cruzando_el_abismo.pdf
16. Morales, B. (2014). *Modelo de Masificación de Vehículos Electricos en Bogotá D. C.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/48580/1/73575424.2015.pdf>
17. Moreno, E. (Enero, 2008). Predicción con series de tiempo y regresión. *Revista Panorama*, 2(4), 36-58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4780125>

18. Municipalidad de Guatemala (2016). *Construcción, Administración y Operación de un Sistema de Transporte Público por Cable Aéreo para los Municipios de Guatemala y Mixco*. Guatemala: Autor.

19. National Plattform Elektromobilität (2014). *The German Standardisation Roadmap for Electromobility Version 3.0*. Alemania: Autor.
Recuperado de
<https://www.din.de/blob/77456/4407b11ea3d0ad1ac1a8889eab8e6b15/nr-3-0-en-data.pdf>

20. Tarbuck, E., y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra*. Madrid, España: Pearson Educación S. A.