



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 06 de Septiembre de 2021

C. Valeria Jiménez Coutiño

Pasante del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Factibilidad de Sustituir unidades de transporte público de combustión por vehículos eléctricos

En la modalidad de: Curso Especial de Titulación

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Dr. Luis Alberto Ballinas Hernández

Dr. Carlos Manuel García Lara

Firmas:

Ccp. Expediente

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

**FACTIBILIDAD DE SUSTITUIR UNIDADES
DE TRANSPORTE PÚBLICO DE
COMBUSTIÓN POR VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

VALERIA JIMÉNEZ COUTIÑO

DIRECTOR

DR. CARLOS MANUEL GARCÍA LARA



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

SEPTIEMBRE 2021

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	2
ÍNDICE DE FIGURAS	3
INTRODUCCIÓN	4
ANTECEDENTES	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACIÓN	14
MARCO TEÓRICO	16
OBJETIVOS	34
OBJETIVO GENERAL.....	34
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
HIPÓTESIS	34
METODOLOGÍA Y RESULTADOS	35
RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1 GENERACIÓN DE TÓXICOS EN MÉXICO	18
ILUSTRACIÓN 2 COMPONENTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO COMÚN.....	24
TABLA 1 PARÁMETROS ELEMENTALES DE LAS BATERÍAS.....	28
ILUSTRACIÓN 3 UBICACIÓN DE TUXTLA GUTIÉRREZ EN EL ESTADO DE CHIAPAS.....	36
ILUSTRACIÓN 4 COBERTURA DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE DE LA CIUDAD DE TUXTLA....	37
ILUSTRACIÓN 5 UNIDAD DE RUTA 34 DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ.....	38
ILUSTRACIÓN 6 RECORRIDO DE LA RUTA 3 EN LA CIUDAD DE TUXTLA	38
ILUSTRACIÓN 7 RECORRIDO DE LA RUTA 34 EN LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ.....	39
ILUSTRACIÓN 8 RECORRIDO DE LA RUTA 126 EN LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ.....	39
TABLA 2 DISTANCIA RECORRIDA POR CADA RUTA EN UNA VUELTA	40
ILUSTRACIÓN 9 RECORRIDO DE LAS RUTAS DEL TRANSPORTE SELECCIONADAS	40
TABLA 3 PREGUNTAS A LOS CHÓFERES DE 3 RUTAS DE TRANSPORTE	41
GRÁFICA 1 COSTO DE COMBUSTIBLE POR UNIDAD.....	41
GRÁFICA 2 VUELTAS QUE REALIZA CADA CHÓFER EN UNA JORNADA.....	42
GRÁFICA 3 GANANCIA NETA DIARIA DE LOS CHÓFERES.....	43
ECUACIÓN 1 DISTANCIA RECORRIDA EN UNA JORNADA COMPLETA LABORAL.....	43
GRÁFICA 4 DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN CADA RUTA	44
ECUACIÓN 2 RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE DEL VEHÍCULO	44
GRÁFICA 5 RENDIMIENTO POR LITRO	45
ECUACIÓN 3 COSTO DE CARGA DE UN COCHE ELÉCTRICO.....	46
GRÁFICA 6 GASTO DEL COMBUSTIBLE VS. GASTO DE ENERGÍA	47
GRÁFICA 7 COSTOS DE INVERSIÓN.....	48

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La masiva utilización de combustibles fósiles ha llevado a un incremento considerable de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente el dióxido de carbono (CO₂), en la atmósfera de nuestro planeta (Martínez Ángel, 2017). Los principales sectores de emisión de gases de efecto invernadero son el sector transporte, el energético y el industrial (Coz, 2018).

A nivel mundial los principales países emisores de GEI son cuatro: El primero de ellos es China, que aglutina cerca del 27% de las emisiones totales de estos gases; después de China se encuentra los Estados Unidos, un país que acapara el 13% de las emisiones mundiales. El tercer país, o grupo de países en este caso, es la Unión Europea y la India, con un 7% del total en ambas regiones; tras todos ellos se encuentra Rusia, con un 4,6% de las emisiones globales; además de este top de países, hay que destacar que el G20, las principales potencias económicas del mundo emiten alrededor del 78% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Esta cifra pone de manifiesto el alto contraste que existe en el mundo, ya que solo 20 países de 195 son capaces de lanzar más de las tres cuartas partes de GEI a la Tierra (El Ágora, 2019).

Para solucionar el problema de emisiones en los vehículos con motores de combustión interna, organizaciones gubernamentales han desarrollado diversas regulaciones sobre límites máximos permitidos de emisiones. En este sentido a nivel mundial han surgido diferentes estrategias de mitigación de emisiones GEI en el transporte, las cuales tienen como foco principal lo relacionado a evitar viajes, cambiar a modalidades más sostenibles y mejorar la eficiencia de estos (García, González y Morales, 2019). Es por esto por lo que algunos países han decidido tomar la iniciativa sobre cómo disminuir estas emisiones mediante lo que actualmente se conoce como electro movilidad.

En otros continentes la idea de utilizar un vehículo eléctrico es tanto positiva como negativa, un primer frente ha sido la conformación de marcos normativos de fomento a la electromovilidad, incentivos fiscales y económicos a la oferta: un buen número de países en se encuentran ensayando algún sistema de incentivos de este tipo (como pueden ser exenciones arancelarias, exenciones de impuestos al valor agregado, IVA, u otros impuestos internos). Asimismo, se ha empezado a tematizar desde la agenda pública de muchos ayuntamientos y municipalidades la introducción de taxis y buses eléctricos (Isla et. al, 2018)

En diferentes países alrededor del mundo se ha adoptado la electromovilidad de distintas

formas, así mismo se han tomado decisiones diversas en cuanto a ella. Para el caso del continente Europeo la comercialización de los vehículos eléctricos se acrecienta cada día más, siendo este continente de los más desarrollados en el tema, para citar algunos ejemplos de Europa tenemos los casos de Alemania, Noruega y España.

En 2016 en Alemania se aprobó la propuesta de subsidio para la compra de automóviles eléctricos, cuyo objetivo era fomentar la electromovilidad. El gobierno alemán propuso tener 1 millón de autos eléctricos circulando por las carreteras alemanas para el 2020. Esta propuesta fue planteada de manera que trabajaran en conjunto el gobierno alemán con la industria de automóviles, pues los costos serían asumidos equitativamente entre ambas partes; para finales del 2017 se contabilizó un total de 131.000 autos eléctricos en el país, por lo que se aplazó la meta de 1 millón de automóviles para el año 2022 (Gutiérrez, 2020). En febrero del 2020 el gobierno germano decidió aumentar el subsidio, y hasta febrero del 2020 se contaba con un total de 191.838 solicitudes para indemnización por compra de autos eléctricos, según la Oficina Federal de Asuntos Económicos y Control de Exportaciones (Villa, 2020).

Noruega es sin duda uno de los países pioneros en adopciones de vehículos eléctricos, más del 5% de los autos que circulan son eléctricos, frente a un 1% de ciertos países que no lo hacen (Santana, 2016) políticas de adopción de este tipo de autos, en especial de cero emisiones, han sido impulsadas desde 1990 y fuertemente apoyadas por el gobierno noruego. El parlamento noruego ha fijado como objetivo nacional que todos los autos nuevos vendidos para 2025 deben tener cero emisiones (eléctricos o de hidrógeno). Para lograr esto han desarrollado una serie de políticas nacionales, donde resalta que Noruega ha usado la recaudación de sus impuestos verdes desde autos contaminantes para financiar incentivos hacia vehículos con cero emisiones (Villa, 2020).

España es pionero en investigación y desarrollo en el campo de las energías renovables incluyendo la investigación y desarrollo en vehículos eléctricos (Santana, 2016). El programa MOVES se ha desarrollado e implementado en España enfocado en electromovilidad, este programa corresponde a subsidios dirigidos específicamente a 3 áreas: Adquisición de vehículos eléctricos (motocicletas y vehículos ligeros) o de propulsión alternativa (por ejemplo, a gas, solo para camiones y buses), establecimiento de estructuras de recarga, implementación de sistemas de préstamos de bicicletas eléctricas. Para la adquisición de vehículos se exige el achatarramiento del vehículo antiguo si no cumple con ciertas condiciones que tienen relación con el medio ambiente

(emisiones de CO₂, rendimiento, antigüedad, entre otras) (Villa, 2020).

Para el caso del continente asiático, el cual es líder de fabricación de vehículos eléctricos, se tiene especialmente Japón; en este país hay más puntos de recarga para vehículos eléctricos que gasolineras, hay que tomar en cuenta que es un país industrializado y esto conlleva a que los japoneses opten más por diferentes tecnologías; las familias de este país asiático tienen en sus hogares instaladas red de recargas esto les facilita al momento que el vehículo este sin batería, aunque resulta costoso, el grado de comodidad es alto (Santana, 2016).

Siendo la economía más poderosa del continente americano, Estados Unidos es el país que más opta por conseguir un vehículo eléctrico. El número de ventas en las diferentes concesionarias aumenta cada vez más, y por ende la fabricación acelera a pasos agigantados, y la variedad de vehículos también. Estados Unidos también ha sido un mercado grande para los autos eléctricos. De hecho, en 2012, con el incremento del precio del petróleo, las ventas de los modelos crecieron un 49% en ese año. Los estadounidenses en esa época adquirieron 117.182 vehículos durante el primer trimestre, mientras que en 2011, la cifra fue de 78.527 vehículos (Santana, 2016).

En Colombia, según el Banco Interamericano de Desarrollo (2018), el mercado colombiano es uno de los más prometedores respecto a la inserción de vehículos eléctricos, dado que el gobierno ha tomado medidas desde el 2009 para impulsar la electromovilidad en el país (Santana, 2016). Comparado a otros mercados de la región, el crecimiento en Colombia se observa más por el lado de los autos eléctricos de batería, y no de los híbridos. La clasificación de vehículos híbridos y eléctricos en Colombia considera a los vehículos híbridos enchufables, como vehículos híbridos, mientras que en los eléctricos solamente se incluyen aquellos que son de batería (BEV), en el segmento de automóviles y utilitarios 100% híbridos, solo se encuentra en el mercado el modelo niro de la marca KIA (a partir de 2018), Ioniq de Hyundai, que recientemente fue introducido al mercado y el Toyota Prius. (Isla et. al, 2019), estima que para 2025, se comercializarán en Colombia alrededor de 2,800 unidades híbridas (incluyendo PHEV), y 2,700 vehículos eléctricos, para un total de 5,500 unidades, lo que representa una penetración de 1.6% del mercado total.

Costa Rica cuenta con una de las mejores estructuras para fomentar la electromovilidad a nivel latinoamericano, con la definición concreta de todas las responsabilidades que deben tener los agentes asociados al tema. Por ejemplo, la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico, permite unificar los trabajos públicos y privados para una eficiente construcción de la infraestructura de carga, entre otros aspectos. El objetivo del país es conseguir que exista un punto

de recarga cada 80 km en las carreteras y no sólo en estacionamientos gubernamentales, sino que también lugares públicos (Isla et al., 2019) En diciembre del 2017 se aprobó una ley que elimina casi todos los impuestos que se les cobraban a los vehículos eléctricos y también se declararon las obligaciones de todos los ministerios involucrados en la electromovilidad.

En el caso de Costa Rica, el objetivo es convertirse en un país neutral en emisiones de carbono para 2022. Así mismo, escuelas técnico industriales, centros comerciales, estacionamientos y concesionarios han colocado cargadores públicos. Considerando la escasa extensión geográfica que tiene Costa Rica se presenta como un país ideal para el desarrollo de la electromovilidad urbana e interurbana (Isla et al., 2019).

Las principales limitantes para que los usuarios particulares adquieran un auto eléctrico se encuentran en los costos elevados de estos; es por esto que los estudios van más encaminados al sector transporte y al tema económico; ejemplo de esto, es el estudio realizado por Villa (2020) en donde determina la factibilidad económica de renovar un 30% de los taxis colectivos por autos eléctricos en el sistema de transporte público nacional de Chile; en donde los resultados de la optimización permitieron concluir que gran parte de los incentivos deben enfocarse en subsidiar el precio de los automóviles eléctricos, lo que concluye que esta es la principal barrera de entrada para este tipo de vehículos. En segunda instancia resaltó el subsidio a la instalación de puntos de carga, concluyendo que esta es otra barrera de entrada importante, y concluyó que no es factible renovar el 30% de taxis colectivos por autos eléctricos en Chile sino solo el 1.9%, dado que renovar el 30% necesitaría un nivel de inversión superior a lo comprometido hasta la fecha en temas de electromovilidad nacional y muy alto en comparación con lo gastado en transporte a nivel global respecto al porcentaje del PIB del 2019.

Otro estudio similar es el realizado por Jaramillo (2019) en donde expone la experiencia del primer año de funcionamiento del servicio de 51 taxis eléctricos en la Ciudad de Loja, Ecuador. En donde obtiene como resultado que, en la ciudad de Loja, circulan 1722 taxis, de los cuales 1671 tienen motor a gasolina, si estos se renovaran a vehículos eléctricos, se disminuiría cada año en 22572 Toneladas la emisión de CO₂.

Por otro lado los costos de operación y mantenimiento de un taxi a gasolina son de USD \$ 0.29/Km frente a los USD \$ 0.24/Km de un taxi eléctrico, sin embargo, la adquisición de un vehículo para servicio de taxi eléctrico es un 40% más costoso que un vehículo a gasolina, esto ya que dentro del estudio utilizaron autos eléctricos, BYD E5 cuyo precio ronda en los \$4000,000 y

KIA Soul EV cuyo precio está por encima de los \$400,000; es por esto que se hace relevante el estudio de Iglesias y Sánchez (2019) en el cual se tiene por objetivo diseñar, construir y controlar un carro eléctrico accionado por un motor C.D. de 36 voltios (tipo carro de golf), que tenga dos modos de control velocidad, manual y automática mediante un control PID (controlador Proporcional, integral y relativo).

Finalmente tenemos el caso de México, en el país la mayor parte de los vehículos (incluyendo híbridos y eléctricos) están libres de arancel; el gobierno federal del sexenio de Peña Nieto, tomó acción en implementar incentivos financieros y no financieros al mercado de híbridos y eléctricos, y existen incentivos adicionales a nivel ciudad, sobre todo en la Ciudad de México (Isla et., al, 2019).

La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030, surge, así, en 2018 como una iniciativa nacional por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para plasmar la necesidad de encontrar alternativas de movilidad sustentable a mediano y largo plazo, con el fin de que pudieran ser retomadas por las próximas administraciones federales (Carrillo et., al, 2020).

Entre las facilidades para los usuarios de vehículos eléctricos en el país, incluyen estar exentos del pago de tenencia (impuesto de propiedad) los primeros 5 años y un descuento del 50% en los 5 años posteriores. Particularmente, la Ciudad de México y el Estado de México fomentan el uso de vehículos eléctricos ya que estos coadyuvan en aliviar cuestiones medioambientales y de tráfico que actualmente aquejan a su población.

En estas dos entidades se ha implementado el programa “Hoy no Circula”. Bajo este programa, los vehículos eléctricos tienen derecho a transitar libremente al estar excluidos de dichas restricciones, además de no ser requerido realizar la verificación de emisiones ambientales, la cual es obligatoria para los vehículos de combustión interna.

Algunos estados de la Zona Metropolitana de Valle de México han habilitado el trámite del holograma “E” para distinguir por medio de las placas vehiculares a los automóviles que están exentos de los requisitos antes mencionados. En el caso particular de la Ciudad de México, los vehículos eléctricos e híbridos pueden obtener una etiqueta adhesiva llamada “EcoTAG” que otorga un 20% de descuento permanente al transitar por las determinadas autopistas urbanas de cuota (Carrillo et.,al, 2020).

Además del Toyota Prius, existen en México algunos modelos tanto eléctricos como

híbridos. En 2015, Ford comenzó a comercializar la versión híbrida Fusion, y en 2017, Hyundai trajo a México el Ioniq híbrido. En 2017, también destacaron lanzamientos en el segmento de sports utility vehicle (SUVs) híbridas. tal fue el caso de Nissan Atrian y KIA Niro. En el segmento de lujo, la marca Infiniti de Nissan comenzó a comercializar versiones híbridas tanto de sedanes como SUV (Q50 y Qx60 respectivamente).

El segmento de los Vehículos Eléctricos Enchufables (PHEVs por sus siglas en inglés) también tuvo un auge de lanzamientos a partir de 2016, donde al igual que en otros países de la región, la oferta de vehículos de este tipo de tecnología, está altamente asociado a las marcas de alta gama como BMW, VW, Porsche, Volvo y Mercedes Benz, principalmente en el segmento de SUV, aunque BMW también tiene sedanes PHEV como Serie 330e y 530e.

En el caso de los eléctricos, BMW y Nissan comenzaron a comercializar los modelos i3 y Leaf en 2014 y 2015 respectivamente, y ambos modelos se siguen comercializando. En 2016, llegó a México la marca Tesla con los modelos S y X. La llegada de Tesla ha dado también un impulso importante al desarrollo de la infraestructura, ya que ha instalado cargadores que pueden ser utilizados también por los estándares de otras marcas. (Isla et., al, 2019).

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Ciudad de México, el Estado de México y Aguascalientes cuentan con la mayor cantidad de vehículos eléctricos en el país con 270, 83 y 81 automóviles respectivamente.

Por su parte, a mediados del año 2018, ya se contaba con 1528 electrolineras públicas a nivel nacional, de las cuales la Ciudad de México contaba con un 50%, seguida de los estados de Nuevo León con el 11% y Jalisco con el 9% (Comisión Federal de Electricidad, 2018).

A diferencia de otros países de la región, para México la red de infraestructura de carga ya no es un reto, ya que además los usuarios han avanzado en el aprendizaje (que ya existe en otros mercados globales) y la confianza de que los vehículos eléctricos dependen más de las recargas domésticas nocturnas, que de la infraestructura de recarga en lugares públicos durante el día. El reto para México, del cual otros países de la región pueden aprender, es la estandarización y optimización de la misma (Isla et., al, 2019).

La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030 plantea distintas aristas para abordar el impulso hacia la electromovilidad urbana. Entre los ejes estratégicos que se plantean y que abordan específicamente el uso de autobuses eléctricos. (Carrillo et., al, 2020) No obstante, entre las principales barreras para adquirir una flota de autobuses eléctricos, se identifica la alta

inversión inicial que estos representan, por lo que la fabricación de estas unidades en territorio nacional podría representar una posibilidad para disminuir los costos de adquisición.

Debido a que México mantiene un importante lugar en la producción mundial de vehículos y autopartes, el país tiene el potencial para incursionar en la producción de autobuses eléctricos con aporte no solamente al desarrollo sustentable sino también al económico. Actualmente, ya se cuenta con empresas mexicanas que participan en la fabricación de autobuses eléctricos. Tal es el caso de DINA15, la cual fabrica en el estado de Hidalgo el modelo “Ridder E” estilo trolebús híbrido, que fue diseñado en conjunto por medio de una colaboración con la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y con respaldo del CONACYT. Dicho modelo ya opera dentro del sistema de transporte urbano en Ciudad de México y Guadalajara. (Carrillo et., al, 2020).

Existe también en México una empresa que puede convertir un auto de gasolina a uno 100% eléctrico en el que una conversión básica tiene un costo de aproximadamente \$152,000 ya que va en función del tamaño y tipo de vehículo, peso del mismo, uso que se le vaya a dar y del circuito diario que se pretenda recorrer, ya que esos detalles van muy de la mano con el tipo de motor a instalarse, el tamaño del banco de baterías, el tipo y calidad de la marca de baterías que se decida usar y otros factores mas; cantidad que está muy por debajo de los \$400,000 que cuesta un auto eléctrico de agencia. (Convierte tu auto a eléctrico, 2017) Es importante mencionar que actualmente en la ciudad de México se cuenta con tres modalidades de transporte público eléctrico de bajo impacto ambiental, administrado por el gobierno de la ciudad: metro, trolebús y tren ligero (Paredes, Velázquez, 2017)

Una estrategia de transición hacia una electromovilidad pública en México es, por lo tanto, viable, puede ser acelerada y debe considerar la adopción de políticas industriales articuladas sobre la base de las cadenas productivas actuales, una revisión de las reglamentaciones del sector de movilidad y la adopción de un modelo de negocios que permita su avance progresivo, una vez que los impactos económicos, ambientales y sociales potenciales son ampliamente favorables a la construcción de esas políticas (Carrillo et. Al)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El automóvil se ha convertido en una herramienta esencial de uso cotidiano para poder desplazarse de un lugar a otro en el menor tiempo posible, pero al haber un mayor crecimiento demográfico, se contribuye a una mayor demanda de vehículos por parte de la población, ya sea transporte público o privado (Iglesias y Sánchez, 2019).

Uno de los principales problemas sociales y ambientales de las ciudades, es la alta contaminación emanada por los gases de estos vehículos, que son en su mayoría propulsados por la quema de combustibles fósiles; los cuales provocan efectos en la salud humana (Santana, 2016).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2012 la presencia de contaminantes en el aire provocó 3 millones de defunciones prematuras, mortalidad que se atribuye entre otros, a la exposición de material particulado (PM), el cual está estrechamente relacionado con la creciente incidencia de cardiopatías, neumopatías y cáncer, especialmente de pulmón (Martínez, 2017).

Un fenómeno importante que ha tenido México, es su gran crecimiento poblacional, lo que ha incrementado el parque vehicular, el cuál alcanzó los 47 790 950 unidades vehiculares registradas en circulación hasta 2018. Del total de vehículos automotores registrados el 67% corresponde a automóviles, el 24% a camiones y camionetas de carga, el 8% a motociclistas y el 1% a camiones para pasajeros (Sánchez et. al, 2020).

México es uno de los países con más emisiones de CO₂ en América Latina, dos de los factores que generan la mayor cantidad de emisiones están relacionadas con el transporte y la generación de energía, los cuales en 2014 representaban el 67.1% del total de las emisiones de CO₂; en cuanto al porcentaje de emisiones por tipo de combustible el petróleo era de 57.4% mientras que el gas natural era de 31.4% (Villareal, 2018).

El sector de vehículos ligeros en México emplea en gran proporción motores de combustión interna y, aunque la venta de vehículos híbridos y eléctricos se ha incrementado a partir del 2016, sigue siendo una fracción muy pequeña. Una de las pautas para el impulso de esta tecnología es la preferencia del consumidor, ya que en gran parte no existe una infraestructura suficientemente extendida para optar por un vehículo netamente eléctrico, donde los híbridos ofrecen la ventaja de seguir empleando, aunque en menor cantidad, combustible fósil, lo que resulta en su mayor autonomía; otras de las causas es que adquirir un vehículo eléctrico de fábrica no está al alcance de todos (Sánchez et, al, 2020).

Debido a que el análisis de los vehículos alternativos, puede ser muy extenso este estudio se centrará más en el tema del beneficio económico que traería al sector transporte migrar a sistemas eléctricos, así como al beneficio social que percibirían los trabajadores, no está enfocado en vehículos eléctricos particulares, tampoco se tocará tan a fondo las emisiones CO2 relacionadas con los VE o relacionadas con la generación de la energía.

La labor de los operadores del autotransporte es indispensable para el desarrollo de las actividades cotidianas de las personas. Las condiciones laborales de los trabajadores del autotransporte en México han sido de las más difíciles dentro del ámbito laboral y es donde encontramos unos de los mayores índices de explotación tolerada en nuestro país (Lóyzaga, y Curiel, 2015). El trabajador del autotransporte se convierte en hombre-máquina, por que el único que si controla es el vehículo; la velocidad, el número de pasajeros, dónde hacer las paradas y desarrollar la capacidad para ganar lo que más se pueda de dinero para completar un salario (Universia, 2015).

Las formas en que los trabajadores del transporte urbano perciben su salario, son varias, siendo la que aplica en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez la conocida como “por circuito cerrado” la cual se encuentra vinculada con el número de veces que el trabajador concluya el circuito (Lóyzaga y Curiel, 2015). Este conjunto de características se traduce en un servicio de baja productividad y con una lógica de explotación de los choferes por parte de los concesionarios o dueños de la unidad quienes recaban una renta o cuota fija dejando el remanente como ingreso variable del chofer (Martínez, 2018) está es la famosa “cuenta” al dueño del vehículo, independientemente de si le fue bien o mal en el día, y sumado que se debe entregar el vehículo con tanque lleno al término del turno.

La herramienta laboral más importante para los trabajadores del transporte es el vehículo, del cual son responsables de mantener en buenas condiciones, esto incluye el combustible (Lóyzaga y Curiel, 2015). Otro factor importante es el precio del combustible. En México, a partir del 2017, el precio de la gasolina depende de una serie de factores dados por el precio internacional del crudo, el precio de la gasolina importada, los costos de logística y distribución y el tipo de cambio de la relación peso-dólar. el precio de la energía es otro factor importante, ya que las personas que opten por un vehículo alternativo deberán visualizar o aproximar su gasto en función no solamente del combustible fósil (PHEV, HEV), también sumar el costo de la energía para la carga de su automóvil (PHEV, BEV).

De acuerdo con la CFE, cada 100km tiene un costo de 60 pesos con electricidad, mientras que los mismos kilómetros con el uso de gasolina, tendría un costo de 117 pesos.

Otro factor importante es el costo de mantenimiento, ya que, en un vehículo de combustión a gasolina, el mantenimiento tiene que ser de manera regular mientras que el costo de manutención de un automóvil eléctrico es menor. (Sebastian, 2018).

De acuerdo a una investigación propia, en donde se indagó con tres choferes de tres rutas diferentes de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se obtuvo que gastan un promedio de 43 litros de combustible al día, que le suministran a su unidad por la mañana cuando inician su ruta y que deben de rellenar al terminar con sus vueltas; mantienen jornadas de 10 a 12 hrs, y perciben una ganancia promedio de \$183 diarios, mismos que se traducen en \$2745 quincenales, ya que la mayor parte de las ganancias obtenidas por el servicio a los usuarios se utiliza para el pago de combustible y otra fracción más para la cuota al concesionario; para visibilizar el problema se pone de ejemplo el precio de la canasta básica para un adulto por mes, la cual tiene un precio aproximado de \$1769. Si se toma en cuenta lo presentado por Sebastian (2018) el kilómetro recorrido con un auto eléctrico tendría un costo de \$0.6 y si se realiza en un auto de combustión interna tendría un costo de \$1.17.

Las emisiones de CO₂ del transporte por carretera son una de las causas más evidentes y difíciles de controlar del cambio climático. Por ejemplo, de acuerdo al estudio de emisiones y actividad vehicular en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez realizado por el instituto nacional de ecología y cambio climático (INEEC)

En el 2012, analizaron las emisiones de 6,932 vehículos de transporte particular (compactos, subcompactos y camionetas), 1,616 taxis y 1,502 camionetas VAN de transporte público y encontraron que el promedio y la mediana de CO (bióxido de carbono), HC (hidrocarburos) y NO (óxido nítrico) son mayores en los taxis y camionetas VAN de transporte público que en los vehículos compactos y subcompactos de uso particular. (INEEC, 2012).

Si a esto se añade el incremento del precio de los combustibles fósiles, y la limitación de las reservas de gas y petróleo, se pone de manifiesto la urgencia por desarrollar nuevas formas de transporte que a día de hoy apuntan hacia los vehículos eléctricos híbridos (HEV), híbridos enchufables (PHEV) y eléctricos puros (EV).

Es preocupante la tensión y el grado de estrés al que diariamente está expuesto el chofer, pues además de tener que proteger su vida, debe salvaguardar la vida de las personas a las que transporta, cuidar del vehículo, conducir con precaución, poner atención en la duración del recorrido.

Además de los propios accidentes laborales a los que están expuestos diariamente, se arriesgan a padecer diversas enfermedades como: trastornos psicossomáticos, problemas visuales y auditivos, diabetes como consecuencia porque se dispone de poco tiempo para consumir productos saludables para el organismo, hipertensión debido al grado de estrés laboral, afectaciones en la columna vertebral, trastornos digestivos producto de la postura en que deben realizar las actividades, además de que sus problemas se complican debido a que su trabajo es sedentario.

Es urgente y necesario que el trabajo de los choferes de transporte colectivo, sea controlado por parte de las autoridades laborales, porque hasta la fecha se trata de trabajadores invisibles que deben tolerar bajas ganancias y demasiados abusos patronales, por el miedo a perder su fuente de ingresos.

JUSTIFICACIÓN

Dado que el transporte contribuye con aproximadamente el 34 % de las actuales emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI) y presenta un crecimiento más rápido que cualquier otro sector de uso final de energía, en la Declaración del denominado Acuerdo de París se indicó que, de no actuar, las emisiones de GEI del transporte aumentarán en un 20% para el año 2030 y cerca del 50 % para el año 2050 (Villa Contardo, 2020).

México se ubicó en el 12o lugar en 2018 como país con mayor emisión del dióxido de carbono. Las fuentes de emisión del GEI de México son principalmente el transporte, la industria, el sector agropecuario y los residuos. México es el segundo mayor emisor de este gas en América Latina, siguiendo a Brasil (Okabe y Contreras, 2020), por ejemplo en la Ciudad de México el sector transporte emite 12.1 millones de toneladas de CO₂, y sólo la suma de las emisiones de los autos y camionetas particulares aportan cerca del 18% del CO₂- equivalente total emitido en la Ciudad de México (Olivera, 2017), esto afecta a la calidad del aire, para el caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en Febrero de 2021 la Secretaría de medio Ambiente e Historia Natural de acuerdo a sus mediciones detectó que se alcanzaron 75.6 ug/m³ de partículas PM 2.5.

La urbanización de las calles y mejoras de las redes diarias, son factores que determinan una dependencia cada vez mayor del automóvil, y a pesar de la mejora del transporte público, casi el 80% de los desplazamientos de personas se realiza en vehículos privados (Galindo, 2010) por ejemplo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez existe un parque vehicular de 150 mil unidades según

informes del secretario de seguridad pública y tránsito municipal de Tuxtla Gutiérrez, estimando 253 vehículos por cada 1,000 habitantes, cifra similar al de la ciudad de Puebla Y Morelia. Debido a estos factores, los combustibles se han involucrado en su tendencia de crecimiento en el registro de 1990-2015; el combustóleo disminuyó en 95%, mientras que la utilización del diésel aumento un 101%, el gas licuado aumentó en 248%, el gas seco en 271% respecto al año 2000; las gasolinas y naftas aumentaron un 78% y los querosenos un 93%.

Por tanto, se hace notar que se ha mantenido en los últimos años el consumo de combustibles fósiles debido a otras alternativas para el uso de transporte (Sánchez et. al, 2020) así mismo el uso de combustibles subsidiados tiene una importante repercusión en la economía nacional (Vélez, 2017), y derivado del precio del combustible, impacta de manera directa en quienes se dedican a trabajar en el sector transporte, como lo son los chóferes de transporte colectivo.

Desde la perspectiva actual, la alternativa que parece más viable a los vehículos impulsados por combustibles fósiles es el vehículo eléctrico, ya que las razones para la electrificación del transporte son obvias: la inseguridad delabastecimiento del petróleo, los altos precios, las emisiones de CO₂, la contaminación atmosférica, además de su aportación a la integración de las energías renovables, ya que al cargarse en horas 'valle' de noche, permitirá aprovechar la energía renovable que ahora se desecha y, a largo plazo, haría el papel de acumulador de energía capaz de compensar picosen la demanda del sistema (Galindo,2010)

Uno de los factores más importantes que influyen en las emisiones de un vehículo es su uso. Los taxis y las camionetas tipo VAN de transporte público recorren mayor kilometraje que los vehículos de uso particular, en consecuencia el motor está sujeto a mayor desgaste y, cuando no existe un mantenimiento adecuado, las emisiones contaminantes aumentan, se encontró en el estudio Estudio de emisiones y actividad vehicular en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas realizado por e INEEC (2012) que el promedio y la mediana de CO, HC y NO son mayores en los taxis y camionetas VAN de transporte público que en los vehículos compactos y subcompactos de uso particular.

Es por ello que en el sector transporte en específico el sistema de combis de Tuxtla es el entorno ideal para introducir los autos eléctricos, ya que con el uso de vehículos eléctricos en el sistema de transporte público, se podría reducir el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, y con eso, disminuir el daño medio ambiental y contribuir a mitigar la mala calidad del aire que afecta a Tuxtla Gutiérrez en la temporada más cálida a la que se le suman incendios

forestales; así mismo al no recurrir a los combustibles fósiles y el costo que estos generan, los trabajadores de este sector, podrían percibir mayores utilidades neta, ya que la mayor parte de las ganancias obtenidas por el servicio a los usuarios se utiliza para el pago de combustible y otra fracción más para la cuota al concesionario, sin tener que realizar ese pago, los trabajadores podrían reducir el riesgo de trabajo a lo que se enfrentan, poniendo en evidencia que la implementación de los autos eléctricos traería beneficios ambientales, económicos y sociales al municipio; ya que como se mencionó anteriormente al implementar el transporte eléctrico en vez de combustión interna se podrían reducir las emisiones de GEI en la ciudad de Tuxtla, que a su vez tendrá repercusión en la calidad del aire y la calidad de vida de su población.

MARCO TEÓRICO

EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS VEHÍCULOS CONVENCIONALES Y SU IMPACTO A LA SALUD HUMANA Y AL AMBIENTE

Para contextualizar el trabajo, iniciaremos con las emisiones emitidas; se debe considerar que al existir combustión interna en los vehículos convencionales se generan contaminantes que son expulsados a la atmósfera.

Los principales son dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (NO_x) y diferentes materiales particulados (Villa, 2020), estos últimos pueden ser clasificados como PM₁₀ y PM_{2.5}, cuando el tamaño de la partícula es menor o igual a 10 y 2.5 micras respectivamente; Entérminos generales, este compuesto consiste en una mezcla compleja de partículas líquidas y/o sólidas suspendidas en el aire que puede considerar además de la presencia de elementos inorgánicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dioxinas y furanos, y compuestos de naturaleza azufrada y carbonosa como el hollín. La exposición de estos contaminantes, específicamente el PM, ha mostrado influir en la esperanza de vida y morbilidad crónica de las personas (3,4,5). Si bien no se conoce el umbral de PM por debajo del cual no existan efectos nocivos, la OMS recomienda concentraciones medias diarias de PM_{2.5} y PM₁₀ de 25 y 50 µg/m³ respectivamente.

En el 2013, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), mostró que hay suficiente evidencia para declarar que la contaminación atmosférica es carcinógena. Esta misma organización declaró en el 2012 que los gases de escape generados en motores diésel son

igualmente carcinógenos, habiendo sido considerados desde 1988 como cancerígenos (Martínez, 2017).

El volumen de emisión mundial de CO₂ generado por el consumo y quema de combustibles fósiles equivale a más del 70% de las emisiones totales de GEI, (SEMARNAT, 2015).

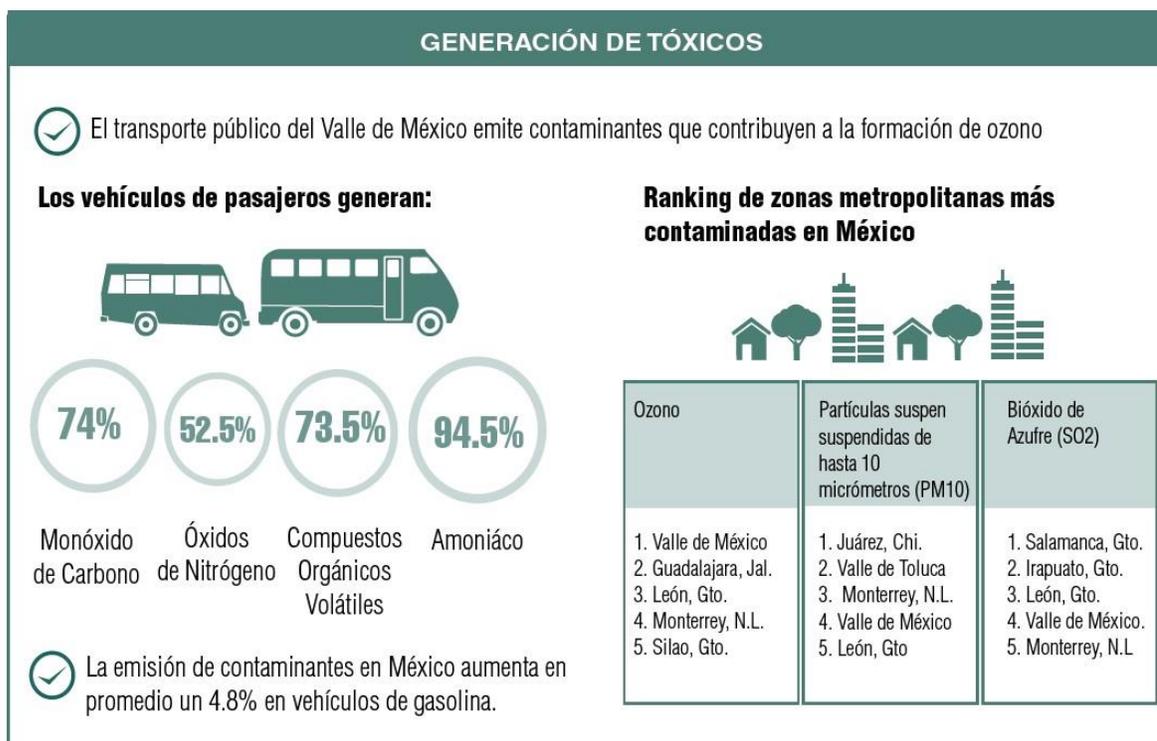
Desde 2013, las emisiones anuales globales de CO₂ de la combustión de combustible fueron de poco más de 32 Gt (109 ton) y se mantuvieron relativamente estables hasta 2016, mientras que en 2017 las emisiones aumentaron alrededor de un 1,5%, lideradas por China, India y la Unión Europea (Sánchez et. al, 2020).

Hay diferentes formas de medir el nivel de emisiones según las fuentes de estudio que se utilicen. Por ejemplo, existen análisis asociados a la tecnología del vehículo, calidad del combustible, nivel de mantenimiento y de la manera en que se conduce; por ejemplo, de acuerdo con el ministerio de transporte y telecomunicaciones (MTT) el cual generó una base de datos con el nivel de emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido de los autos convencionales. En ella se observa que el promedio de emisiones para contaminantes globales corresponde a 187 gCO₂/km y que los autos registrados tienen un promedio de rendimiento de 10.4 km/L. (Nicolás, 2020)

En México, la emisión de GEI se ha incrementado significativamente a través de los años. La información de las tendencias por sector muestra que el de Energía ha sido el que más emite, pues en el año 2015 se registraron 683 Mt de GEI, siendo del 70% (481 Mt) la contribución de este sector, seguido por el Ganado con un 10%, Procesos industriales con el 8%, Residuos con 7% y Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra con 5%. En ese año, se emitió el 71% de bióxido de carbono (CO₂), el 21% de metano (CH₄), el 6% de óxido nítrico (N₂O), el 1,8% de hidrofluorocarbonos y menos del 1% de hexafluoruro de azufre (SF₆).

De las emisiones de GEI del sector energía en México, siendo un total de 841 Mt expresadas como CO2e (CO2 equivalente), el mayor contribuyente en el último año registrado corresponde al sector Transporte, con el 36% (171Mt). (Sánchez et. al, 2020).

Ilustración 1 Generación de Tóxicos en México



Fuente: Olivera. Opciones de Política para Transitar hacia una Senda de Desarrollo Baja en Carbono. México. 2017

Las consecuencias están asociadas a efectos medio ambientales provocados por el calentamiento global. Este es un fenómeno que está directamente relacionado con el uso de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero.

Algunos ejemplos de estas situaciones son el aumento del nivel del mar por el derretimiento de glaciares, una mayor frecuencia de olas de calor que afectan directamente a los seres vivos del planeta, mayor cantidad de tormentas por el aumento en la temperatura del mar (Nicolás, 2020)

MOVILIDAD SUSTENTABLE Y ELECTROMOVILIDAD

Comenzamos con el concepto de movilidad, pues actualmente es uno de los primordiales conflictos en la ciudades. El Glosario de la Carta Mexicana de los Derechos del Peatón, publicado el 11 de agosto del 2014 por la red de colectivos y organizaciones dedicadas a la promoción y defensa del efectivo ejercicio de los derechos del peatón en las ciudades mexicanas, Liga Peatonal, define la movilidad como la actividad que tienen las personas al pasar de un estado de reposo a un estado en movimiento, pudiendo ser este de traslado de un punto A a B o simplemente de forma recreativa.

Entendiendo este concepto hará que se convierta en un proceso más sencillo el comprender el tema de Movilidad Sustentable, que une el término ya mencionado con los aspectos sociales, económicos y sobre todo ambientales (García, 2018).

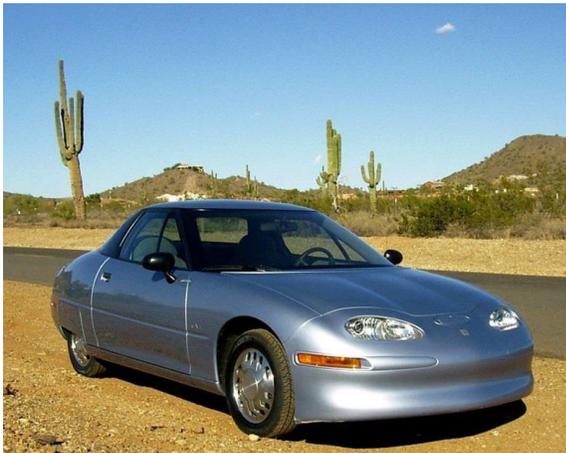
La movilidad sostenible se refiere a un análisis para encontrar alternativas que permitan minimizar o evitar los efectos negativos causados por problemas medioambientales ocasionados por el uso del vehículo como medio de movilización, todo esto debido a que la mayoría de los vehículos tiene como fuente principal de energía los combustibles fósiles; hay que tener en cuenta que las políticas que se implementan para una movilidad sostenible se concentran en disminuir la congestión vial, por esta razón con mayor frecuencia se busca tecnologías que sean impulsadas por medio de combustibles alternativos (Sarmiento, 2015) es ahí donde la movilidad eléctrica o electromovilidad toma su importancia.

En diciembre de 2018 se llevó a cabo la COP24. En la Conferencia, una de las discusiones fue la iniciativa hacia la llamada movilidad eléctrica mundial, que impulsa los vehículos eléctricos, mediante lo cual procura lograr la cero emisión del gas con efecto invernadero por el sector de transporte. El Acuerdo de París pretende alcanzar la cero emisión sustancial del gas con efecto invernadero para la segunda mitad del presente siglo, para lo cual se estima llevar a cabo una tarea de reducir el transporte tradicional con combustión que emite el dióxido de carbono.

Esta movilidad también procura la cero emisión del sector de transporte, y además deja claro que los respectivos países, a escalas tanto estatal como municipal conjuntamente promuevan los vehículos eléctricos (Okabe y Contreras, 2020); en ese sentido ahora, casi 100 años después de que los avances tecnológicos y el descubrimiento de grandes reservas de petróleo desplazaron al vehículo eléctrico en favor del motor de combustión, los vehículos eléctricos están regresando y necesitan desplazar cada vez más el motor de combustión para reducir las emisiones y la contaminación del aire.

(palabras del Secretario General de la ONU, Organizaciones de las Naciones Unidas, 2018).

La electrificación de los vehículos, especialmente del sector transporte, puede responder a los desafíos impuestos por la congestión vehicular y la mejora de la calidad del aire. Los motores eléctricos presentan una mayor eficiencia energética (85-95%) en comparación a la ofrecida por los motores de combustión interna (28-30%) (Martínez, 2018). Con el paso del tiempo, han surgido



algunas razones para fomentar la electro movilidad, entre ellas destacan las siguientes: la electro movilidad, surge como una posibilidad para la reducción de emisiones de CO₂ respecto a lo que ofrecen los vehículos convencionales. Además, disminuye la contaminación acústica en las grandes urbes.

Es parte de las distintas fuentes de innovación radical y emprendimiento de nuevos negocios, dado que las tecnologías asociadas al electromovilidad están en plenas vías de desarrollo.

La generación de nuevos productos o sus mejoras, y la creación de procesos relativos a los autos eléctricos, son y serán una principal fuente de crecimiento económico a nivel país; Es una vía para posicionar y desarrollar la competitividad industrial de los países, principalmente en lugares donde el mercado de producción automotriz es muy relevante, como el caso de China, Alemania y Francia; Es una estrategia en materia de transporte, enfocado en mejorar y desarrollar sistemas públicos para el traslado de pasajeros que sean energéticamente más eficientes y menos contaminantes. (Cabrebra y García, 2019)

Como la electromovilidad tiene ventajas para los países que deciden fomentarla se Villa (2020) señala algunos aspectos que deben suceder paralelamente para que existan mayores incentivos hacia el uso de autos eléctricos.

Continuo mejoramiento de las baterías y reducción de su costo, lo que en el mediano y largo plazo, permitirá la disminución de los costos totales del vehículo.

Reducir el tiempo de recarga. Los sistemas de recarga rápida disminuyen la vida útil de las baterías (al generar sobrecalentamiento de los componentes). Esto es relevante, porque tiempos de recargas mayores implican dedicar más espacios de estacionamientos escasos en zonas céntricas o densamente pobladas, lo cual necesita mayor inversión y planificación urbana.

Desarrollar infraestructura de recarga, tanto privada (en los hogares y empresas) como pública. En este sentido, se visualizan opciones de recarga como, por ejemplo, electromagnetismo en el pavimento, softwares y sistemas inteligentes que permitan el traspaso de energía a la red asociado a un sistema amplio e inteligente de facturación (a largo plazo).

Los gobiernos deben estar informados de las diferencias existentes entre los tipos de tecnologías de propulsión que tienen los vehículos eléctricos. Deben entender las diferencias entre vehículos híbridos, híbridos enchufables y eléctricos, para que decidan implementar las políticas públicas óptimas en base a las necesidades de los países. En el futuro, cuando los precios de los autos eléctricos y convencionales sean comparables, es probable que los incentivos sean sólo para vehículos eléctricos.

Debe realizarse una óptima legislación sobre el cobro de las recargas, de manera que el costo para los conductores no sea excesivo y tengan incentivos para comprar vehículos eléctricos, pero sin desincentivar la instalación de nuevos puntos de recarga por un precio poco competitivo.

Existe la necesidad de coordinación y alineación de objetivos de políticas públicas y programas de incentivos respecto al uso de energía eléctrica. Esto tiene relación directa con la generación y distribución de electricidad, donde se debe considerar el uso de energías renovables no convencionales para la carga, y no desabastecer la matriz energética.

En los últimos años, la electro movilidad ha evolucionado e incrementado de manera significativa en países desarrollados, pues en 2018 la flota mundial de automóviles eléctricos superó los 5.1 millones, 63% más que en el 2017. El país con un mayor impulso a la movilidad eléctrica es China, ya que cuenta con la mayor flota de vehículos eléctricos ligeros alrededor de un 45%, que representa 2.3 millones, seguido por Europa con 1.2 millones de automóviles eléctricos con el 24% de la flota vehicular a nivel mundial, y los Estados Unidos con un 1.1 millones de vehículos eléctricos en circulación, con el 22%.

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Un vehículo eléctrico es un vehículo de combustible alternativo impulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales, los motores inerciales, o aplicaciones del magnetismo como fuente de propulsión. Utiliza la energía química guardada en una o varias baterías recargables. Usa motores eléctricos que se pueden

enchufar a la red para recargar las baterías mientras está aparcado, siempre que la infraestructura eléctrica lo permita (Santana, 2016)

HISTORIA Y ORÍGENES HASTA LA ACTUALIDAD

En 1835, el holandés Sibrandus Stratingh diseñó un pequeño modelo a escala de automóvil propulsado por pilas eléctricas no recargables (YouBioit, 2015). El químico británico, Robert Davidson construyó un pequeño motor eléctrico en 1837. Davidson produjo una serie de pequeños motores eléctricos basados en baterías de celdas galvánicas, las cuales generan electricidad a partir de una reacción electroquímica, de reducción y oxidación, producida entre dos metales como el zinc y el cobre.

La mejora de la pila eléctrica, propuesta por Planté en 1865 y Faure en 1881 plasma una línea base para los vehículos eléctricos; por otra parte, previo al auge de los motores a gasolina, los VE (vehículos eléctricos) presentaron registros importantes en cuanto a la velocidad y distancia recorrida (ruptura de la barrera de los 100 km/h) (Casaravilla & otros, 2012).

En 1879, el ingeniero alemán Werner von Siemens elaboró el primer tren eléctrico, considerado como el primer metro del mundo, el cual funcionó por el lapso de cuatro meses en la Exposición Universal de Berlín. (Treneando, 2015). De igual manera, en 1881 se puso en marcha el primer tranvía eléctrico del mundo, en la ciudad de Berlín, Alemania (DEKRA, 2014). Por lo tanto, la historia de los vehículos eléctricos abarca casi la totalidad del transporte terrestre conocido como lo son el automóvil y el tren, siendo las variedades desde este último el tranvía y el metro.

Los VE aparecieron en Europa en el año de 1880 y en América durante el año de 1920; sin embargo, su producción se detuvo por el surgimiento de la Primera Guerra Mundial y por los altos costos en la fabricación del vehículo, así como por el desarrollo de la Segunda Guerra Mundial, en la cual se dirigió todo el esfuerzo tecnológico hacia el combate armado. (Leon y Salinas, 2018)

En este sentido, según investigación de Martínez Gutiérrez (Martínez, 2012), en las décadas de los años 1960 y 1970 se originó la revalorización del vehículo eléctrico, considerándolo como una alternativa para el transporte masivo, debido a las tendencias ecológicas de la época, las discusiones ambientales y las estimaciones limitadas de petróleo en el mercado.

Uno de los autos que se vendieron mejor en aquella época fue el CityCar, producido entre 1974 y 1976 por Sebring-Vanguard Company en Sebring, Florida (Leon salinas, 2018).

General Motors produjo su primer vehículo eléctrico en masa para el año de 1996, llamado General Motors EV1; era un biplaza de estilo deportivo capaz de recorrer hasta 190 Km con una

sola recarga de batería, sin el empleo de gasolina para ello, que se vendió en diversas ciudades del estado de California en Estados Unidos de América debido a que la ciudad acoge desde 1990 al proyecto de ley Vehículo de Emisión Cero, lo cual se terminó en abril de 2003, marcando un retraso en los avances sociales en materia de protección al medio ambiente (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2015). Del modelo EV1 se fabricaron aproximadamente 1100 unidades entre 1996 y 1999; el cual utilizaba 26 baterías de plomo y ácido las que había que sustituir cada 450 cargas (Murias, 2015).

En 2003 se funda la compañía Tesla Motors por Elon Musk, año en el cual se produjo el modelo Roadster, un deportivo totalmente eléctrico que podría viajar 200 millas (320 Km, aproximadamente) con una sola carga (Blog-MERME, 2017). Sin embargo, la viabilidad económico-financiera de la empresa puso en peligro la continuidad de la misma en el año 2009, cuando Daimler de Mercedes-Benz, Smart y compañía, compraron varios millones de dólares de acciones de Tesla, salvándola de la quiebra (Ibáñez, 2013). Con la finalidad de promover una producción que llegue a los 500.000 vehículos para el año en 2018, Tesla-Motors, por ejemplo, busca el desarrollo de sistemas de producción cuya característica principal es la automatización avanzada (Tesla, 2017).

González (2016) afirma que los VE en el año 2016 tenían una tendencia creciente, pues la tecnología tras este tipo de vehículos ha evolucionado, básicamente en darles mayor autonomía, gracias a baterías con mayor capacidad.

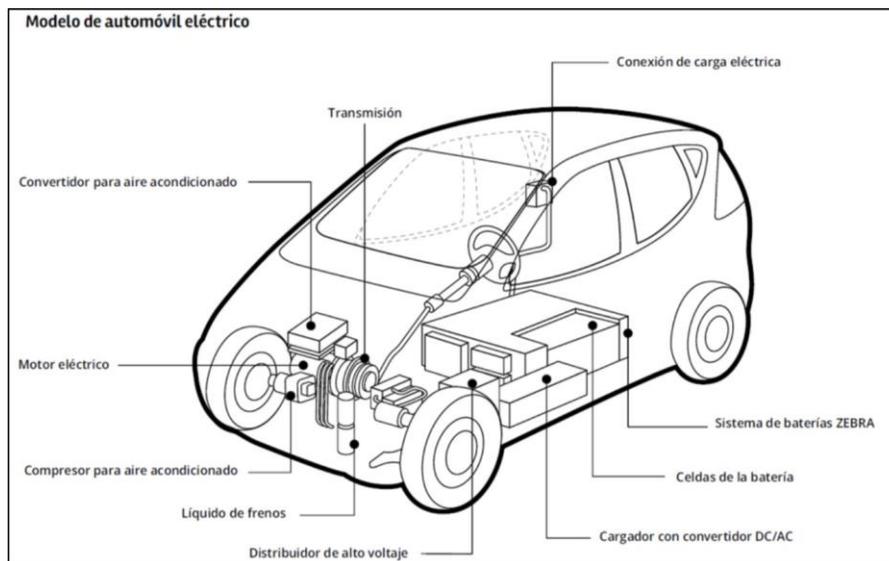
LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y SU FUNCIONAMIENTO

Una parte esencial del vehículo es el motor eléctrico, el cual está formado por el estator y el rotor. El estator, tal como su nombre lo sugiere, está inmóvil y rodea al rotor que es el que gira (es la única parte móvil del motor).

Los autos eléctricos pueden contar con dos motores, en las ruedas traseras o en las delanteras, o con cuatro motores, uno en cada rueda. Es por esto que, el auto eléctrico no necesita ni la caja de velocidades ni el diferencial (elemento mecánico que permite que la rueda derecha e izquierda gire en revoluciones diferentes), ambos indispensables en los automóviles de gasolina o diésel.

Los otros dos elementos fundamentales en el motor eléctrico son las baterías que proporcionan la energía, y, el control eléctrico, que se encarga de administrar dicha energía según los requerimientos del automovilista y del tráfico. (Villa, 2020)

Ilustración 2 Componentes de un vehículo eléctrico común



Fuente: Villa. Factibilidad económica de renovar un 30% de taxis colectivos urbanos por autos eléctricos en Chile. 2020

En la figura anterior, se observa la disposición de un vehículo eléctrico común, el cual presenta los componentes que se mencionaron anteriormente. La batería tiene una posición central en el vehículo y necesita de un cargador con convertidor DC/AC para obtener la energía desde la matriz energética.

Un aspecto similar a lo que presentan los vehículos convencionales es el uso de líquido de frenos, aunque se diferencian en el hecho de que los autos eléctricos buscan aprovechar la energía de frenado para cargar la batería, puesto que en lugar de disipar la energía del frenado en calor que se va a la atmósfera, tal energía puede aprovecharse para recargar las baterías, debido a que los motores pueden funcionar como generadores durante el frenado (Villa, 2020).

TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Hace poco tiempo, los vehículos con mayor producción y que contaban con propulsión eléctrica son los HEV (Hybrid Electric Vehicles, por sus siglas en inglés), la característica de estos automóviles, se basa, en que tienen un motor a gasolina y un conjunto eléctrico compuesto por un generador, motor y baterías.

A los HEV se los encuentra de dos tipos:

Híbrido paralelo: Este tipo de vehículo es el que más ha sido empleado, los dos sistemas de propulsión que posee permiten el movimiento de las ruedas, el motor térmico puede desplazar el automóvil, además, se puede mover a través de un motor eléctrico. Ambos sistemas pueden colaborar para desplazar al vehículo. Con ello, se han identificado dos formas de utilizar este tipo de tecnología, la primera desde una autonomía eléctrica, que incluye el inicio de la marcha, supeditado a que el motor térmico sea su principal ejecutor y la electricidad sea su soporte según la disponibilidad de carga de las baterías de propulsión. Los HEV en paralelo pueden disponer de un cargador que puede ir conectado a la red casera o a una red especializada “plug in”; este tipo de tecnología usa básicamente la tracción eléctrica para mejorar la eficiencia energética del motor a combustión interna, se consigue utilizando el motor a gasolina en los sistemas de giro en los que tiene mayor rendimiento, el conjunto eléctrico gestiona la energía sobrante o faltante, es decir, la tracción eléctrica sirve para dar movimiento al automóvil, almacenar energía en bajadas y frenadas, otorgando al motor térmico un funcionamiento óptimo.

Híbrido Serie: En esta tecnología, solo la parte eléctrica da tracción, el motor a combustión se usa para crear electricidad. Es decir, utilizan un motor a gasolina para recargar las baterías que

alimentan el motor eléctrico con ello, el motor de combustión interna solo funciona en su punto óptimo y el motor eléctrico es el que mueve al vehículo. (León, Salinas, 2018).

A su vez, los VE se pueden categorizar, Villa (2020) los diferencia de la siguiente manera:

-Vehículo Eléctrico (BEV, Battery Electric Vehicle): Automóvil propulsado únicamente por uno o más motores eléctricos, utilizando energía eléctrica almacenada generalmente en baterías recargables, lo que permite obtener la energía mediante distintos tipos de conexiones a la red eléctrica. También tienen la opción de cargarse a través de un frenado regenerativo, no disponen de un motor de combustión interna, razón por la cual no emiten gases de escape a pesar de ello, existen emisiones que se las calcula durante el conocido ciclo de vida, que están implícitos en la mayoría de los sistemas de producción de electricidad; la autonomía de este tipo de vehículos es menor que la de los automóviles convencionales por cada tanque de gasolina, su autonomía va entre 112 y 145 kilómetros con una batería totalmente cargada, dependiendo del modelo, la misma, puede ser mayor.

Entre los factores asociados que inciden en la autonomía son: los hábitos de manejo, la temperatura ambiente puede reducirla puesto que, la energía de la batería debe alimentar los sistemas de acondicionamiento, además de impulsar el motor. (León y Salinas, 2018)

-Vehículo Híbrido (HEV, Hybrid Electric Vehicle): Automóvil propulsado por una combinación de un motor de combustión interna y uno o más motores eléctricos, generalmente variando la participación de cada motor de acuerdo con las circunstancias del tránsito, clima, etc.

-Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle): Automóvil que posee un motor de combustión interna, uno o más motores eléctricos y un conjunto de baterías asociadas a ellos. Estos vehículos operan similar a vehículos híbridos, con la

diferencia de que permiten al usuario conectar el vehículo directamente a puntos de carga para cargar la batería.

Los vehículos híbridos enchufables, disponen de baterías más grandes que los HEV. Permitiendo un desplazamiento con electricidad autónoma de entre 16 y 65 kilómetros, pudiendo ser más el desplazamiento dependiendo del modelo y decarga ligera. Es importante señalar que, mientras la batería este cargada, el modelo PHEV funciona de manera eléctrica gracias a la energía que almacena su batería cuando es utilizado en zonas urbanas. Asimismo, el motor de combustión interna se encargará de impulsar el automóvil cuando la batería carezca de energía, cuando sea necesaria una aceleración rápida a altas velocidades o cuando el usuario necesite activar la calefacción.

Los PHEV cuando funcionan solo con la batería no emiten gases, aun cuando el motor a gasolina esté en funcionamiento, teniendo como característica la de tener menor consumo de gasolina y emitir menos gases contaminantes. Con respecto, al consumo de gasolina esto dependerá de la distancia recorrida entre una carga y la siguiente (Salinas, 2018).

Por último, de manera más reciente se han desarrollado los motores eléctricos alimentados por celdas de combustible de hidrógeno (FCEV por sus siglas en inglés), dichos vehículos poseen un tanque donde se almacena hidrógeno comprimido, el cual se utiliza junto con el oxígeno del aire en un proceso de oxidación y liberación de la corriente eléctrica que alimenta el motor. Las emisiones de este tipo de vehículos son nulas (al menos durante su operación), con excepción de vapor de agua.

Si bien casi todas las grandes compañías del sector automotor han ensayado modelos de pila de combustible, esta tecnología aún no se ha masificado y es probable que tarde varios años más en alcanzar un grado de penetración significativa, debido sobre todo a la falta de una infraestructura de recarga de hidrógeno para vehículos de pasajeros.

Los principales mercados, por reducidos que sean de FCEV, son Japón y el estado de California, en Estados Unidos (Isla et. al, 2019)

BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La batería es uno de los componentes más importantes de los vehículos eléctricos puesto que la autonomía y el valor en el mercado del automóvil dependen de la tipología y las dimensiones de la misma. La batería almacena electricidad a través de sustancias electroquímicas, y una eficiencia que se acerca al 100 % (Electromovilidad, 2017).

Entre los principales parámetros a tener en cuenta en una batería diseñada para vehículos eléctricos, se tienen los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 1 Parámetros elementales de las baterías

Parámetro	Definición	Unidad de medida/Rango normal
Densidad energética	Es la energía que puede suministrar la batería por cada kg, es decir, es la cantidad de energía que es capaz de almacenar una batería en relación a su peso. Cuanto mayor sea su medida, mayor será la autonomía que tendrá el vehículo	Wh/kg Las baterías para coche eléctrico de última generación tienen una densidad de 100 a 150 Kw/h
Potencia	Es la capacidad de proporcionar potencia (amperaje máximo) en el proceso de descarga. A mayor potencia mejores prestaciones para el vehículo eléctrico	Wh/g
Eficiencia	Es el rendimiento de la batería, la energía que	Porcentaje (%)

	realmente aprovecha	
Costo	Valor del mercado	USD/EUR/ etc.
Ciclo de vida	Ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser sustituida, Cuantos más ciclos mejor, ya que será más duradera	Número de cargas

Fuente: Villa. Factibilidad económica de renovar un 30% de taxis colectivos urbanos por autos eléctricos en Chile. 2020

E

1

compo

nente esencial de los vehículos eléctricos e híbridos son las distintas variedades de baterías recargables (de ácido de plomo, hidróxido de níquel o iones de litio) donde se almacena la energía que propulsa el vehículo. Estas se diferencian de la siguiente manera de acuerdo a lo presentado por Villa (2020):

-Plomo-ácido: Se utilizaban en modelos antiguos, se encuentran en desuso debido a su peso y tamaño.

-Níquel-hidruro: Acumula el doble de energía por kilo que las de plomo-ácido, pero con una vida útil limitada por tener un número limitado de recargas.

-ZEBRA sodio y cloruro de níquel (Na-NiCl₂): Estas baterías funcionan a temperaturas entre 200°C y 250°C. Suponen un gran avance en capacidad, pero destinan un 10 % de esta a mantener alta la temperatura, lo que puede provocar que se descargue sola.

-Ion-litio: Son las que mejor cumplen, por ahora, los requisitos para el coche eléctrico y va en aumento la capacidad máxima que tienen dado el avance en la tecnología. Solo permiten entre 2.200 y 2.500 recargas completas, pero esto supone unos diez años de uso, siendo más que la vida útil propia de la batería.

Como norma general, las baterías de ion litio funcionan de forma más eficiente a temperaturas entre 20°C y 25°C y la pérdida de eficiencia llega a ser observable cuando las temperaturas bajen de -5°C, o suban de los 40°C de forma continuada. Además, la vida útil promedio de las baterías es de 8 años, dado que posterior a ese periodo van perdiendo eficiencia en

sus procesos de carga.

Actualmente, existen baterías funcionan en base a celdas, las cuales, al conectarse, obtienen la capacidad total de la batería. Esto permite renovar las celdas que fallan con el paso del tiempo, y así no es necesario el recambio general de las baterías. El precio promedio asociado a esta renovación en Nissan corresponde a \$600 dólares. El costo de la batería de ion litio para algunos modelos oscila entre el 12.3 % y 30 % del precio total de venta del vehículo. Cuando el vehículo tiene componentes más costosos (de alta gama), el porcentaje del valor total asociado a las baterías disminuye por aumentar el valor de adquisición total.

Si el transporte se electrifica en un porcentaje alto, se plantea el problema de saber si existen suficientes reservas de litio como para satisfacer las demandas de fabricación, los principales yacimientos de este mineral se encuentran en Chile, Bolivia, Argentina y China y las reservas conocidas ascienden a unos 20 millones de toneladas. La batería de un vehículo eléctrico medio necesita actualmente unos 10 kg de litio, con lo que las reservasde mineral conocidas hasta ahora, dedicadas íntegramente a la automoción abastecerían a 2.500 millones de vehículos (Sanz, 2015).

Es importante mencionar que actualmente en México se ha encontrado depósitos de litio, posicionando a México con el país con más reservas de litio en el mundo, los trabajos de extracción comenzaran en el año 2023 a cargo de la empresa Bacanora (Expansión, 2021)

EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LAS BATERÍAS (USD), GLOBAL, 2016-2020



Fuente: Frost & Sullivan.

En la gráfica anterior se observa que el precio de las baterías ha tenido una constante disminución entre 2010 y 2020.

La tendencia a la baja en los costos de producción de los vehículos eléctricos va a estar sujeta a la caída de los costos de fabricación de las baterías, especialmente de los BEV y PHEV, los cuales poseen baterías mucho más grandes y de mayor densidad. Esto se irá dando principalmente

por dos razones: la mejora tecnológica y, conforme vaya aumentando la producción en masa de este tipo de vehículos, las economías a escala. (Villa, 2020)

INFRAESTRUCTURA DE CARGA

La infraestructura de recarga es uno de los aspectos clave de ventas, referidos habitualmente por los usuarios que desean adquirir un vehículo eléctrico, a pesar de que la mayoría de los conductores recargan sus vehículos en casa (Nava, 2017).

Uno de los principales desconocimientos sobre el coche eléctrico tiene que ver con su recarga, particularmente por la falta de difusión y que la recarga pública todavía no está desarrollada, incluso en los países europeos donde existe una mayor construcción y promoción del automóvil eléctrico.

En los países donde se promueve el uso de los vehículos eléctricos, se ha desarrollado paulatinamente un sistema de electrolíneas, las cuales son espacios de carga rápida para vehículos eléctricos, las cuales pueden depender del sistema eléctrico interconectado público o de sistemas alternativos sostenibles, tales como los paneles solares.

La infraestructura de carga se clasifica en tres tipos:

-Carga Lenta AC o Nivel 1, se refiere a realizar la carga mediante una toma de corriente alterna estándar en hogares y oficinas. no requiere instalación especial, y la carga se hace mediante un enchufe de hogar de tres clavijas. Este tipo de carga no posee caja de control y cuenta con una conexión directa al enchufe. Prácticamente, todos los vehículos eléctricos disponibles en el mercado vienen con un cable que se puede conectar directo a una toma de corriente. A pesar de que permite la carga en el hogar, no permite la carga pública y su tiempo promedio de carga oscila entre ocho y diez horas.

-Carga Rápida AC o Nivel 2, se refiere a realizar la carga mediante corriente alterna que exige la instalación de un equipo de carga con modificaciones eléctricas, para acceder a una corriente de mayor nivel. El nivel 2 ofrece carga a través de 208V o 240V, dependiendo de las tomas de electricidad. La caja de control se encuentra en un dispositivo de protección en el cable o caja de control en cable. normalmente, este tipo de cargadores requiere de una instalación especial ya que la demanda de energía es mayor, y el cable no puede ser enchufado directamente a la corriente. Permite la carga tanto en el hogar como pública, y cuenta con un tiempo de carga promedio que oscila entre 4 y 6 horas.

-Carga DC (direct current) se refiere a la carga de corriente directa, la cual es el modelo de carga más rápido disponible en el mercado. El cargador opera a 480V y la batería se recarga en

menos de 30 minutos. Las estaciones de carga dC se instalan únicamente en lugares públicos que cuentan con la infraestructura necesaria para su operación.

El costo de los cargadores depende claramente del tipo y nivel de carga de los mismos. Como es de esperarse, el costo de los cargadores dC es más alto que el de los cargadores AC, pero el impacto que tiene la instalación de cargadores dC también es mayor, ya que un mayor número de usuarios se puede beneficiar de la infraestructura, que con cargadores AC. Sin embargo, esto no significa que no se deba instalar infraestructura AC sino que cada tipo de infraestructura de carga debe ser pensado de acuerdo con el lugar donde se instala, considerando las necesidades de los usuarios potenciales (Isla et. al, 2019)

El precio de los cargadores residenciales de nivel 1 ha disminuido alrededor de un 30% en los últimos años, y actualmente existen en el mercado opciones que llegan hasta US\$1,600 porque ofrecen distintos atributos como acceso inalámbrico a Internet. Sin embargo, el promedio se mantiene alrededor de US\$450. Actualmente, es muy fácil adquirir estaciones de carga residenciales incluso en portales de comercio electrónico como amazon.com.

En México la Comisión Federal de Electricidad (CFE) da la opción de la instalación de una electrolinera. Esto es, la instalación de un segundo medidor exclusivamente para la carga de tu vehículo híbrido o eléctrico, esto ayuda a que tu demanda de electricidad se quede dentro de la tarifa 01 y no suba a doméstica de alto consumo.

Dentro de esta electrolinera existen 3 tipos, dos de uso doméstico y uno público. Las de uso doméstico ofrecen distintos tipos de tiempo de carga, el primer tipo tarda alrededor de 12-14 horas para la carga total, mientras que la segunda 3-4 horas para la misma carga. Sin embargo, no existe un crédito o una reducción del costo por la instalación de esta infraestructura en el hogar (Sebastian, 2018) En el portal de la Comisión Federal de Electricidad se puede consultar el mapa de las estaciones de carga que existen, siendo la ciudad de México la mayor con 115-140 electrolineras, siguiéndole Nuevo León y Aguascalientes con 66-78, posteriormente el Estado de México con 27-39 y por último el estado de Jalisco el cual cuenta con 14-26. (Sebastian, 2018)

Los vehículos y las baterías necesitan poco mantenimiento al presentar un número mínimo de piezas móviles. En comparación con los vehículos convencionales, las condiciones de presión y temperatura en la parte interna de los motores son menos extremas (por el hecho de no necesitar combustión para funcionar). Las piezas interiores del motor eléctrico no necesitan mantenimiento

programado ni cambio de aceite, por lo que el usuario tiene que revisar únicamente las partes del vehículo asociadas a la conducción (ruedas, frenos, ejes, entre otras).

Los autos eléctricos no necesitan tanques de gasolina, radiadores, tubos de escape ni silenciadores, pero tienen limitaciones relevantes como la autonomía o el peso de las baterías, el cual sobrepasa el peso de los tanques de gasolina o diésel. A pesar de esto, ninguna de estas desventajas es grave para la conducción urbana de estos vehículos al tratarse de trayectos cortos en su mayoría

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la factibilidad de sustituir unidades de transporte público de combustión por vehículos eléctricos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la situación actual del transporte público

Evaluar la factibilidad de la conversión de las unidades convencionales a eléctricos

Determinar el tiempo de recuperación de la inversión

Recomendaciones sobre la cultura de la atención vial

HIPÓTESIS

La conversión de un auto de combustión a eléctrico permite la mejora del servicio, la situación económica de los chóferes y la reducción de las emisiones a la atmósfera

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La presente investigación es cualitativa con un enfoque descriptivo bajo el método deductivo, ya que está caracterizada por la revisión bibliográfica de textos y documentos, así como de material audiovisual, realizando el análisis de la información existente con el propósito de obtener información pertinente relacionada con el tema. La investigación se fundamenta en el estudio de la investigación documental.

Con la finalidad de analizar la factibilidad de sustituir unidades de transporte público de combustión por vehículos eléctricos en Chiapas; se estableció la metodología siguiente, buscando cumplir con los objetivos que en el capítulo anterior se definieron.

En primer lugar se realizó una investigación descriptiva que comenzó por la búsqueda de material documental disponible en las bases de datos Scielo, Redalyc, Google Académico y el portal de gobierno del estado; con las siguientes palabras clave: autos eléctricos, electro movilidad, transporte público, parque vehicular, transporte, México, Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, emisiones atmosférica.

Después se desarrolló una revisión de la literatura encontrada y se seleccionaron aquellas publicaciones que cumplieran con los criterios de inclusión, siendo estos, artículos o documentos publicados en los años de 2010 a 2021 escritos en inglés o español, para el caso de algunos documentos provenientes de gobierno se hicieron algunas excepciones con los años de publicación.

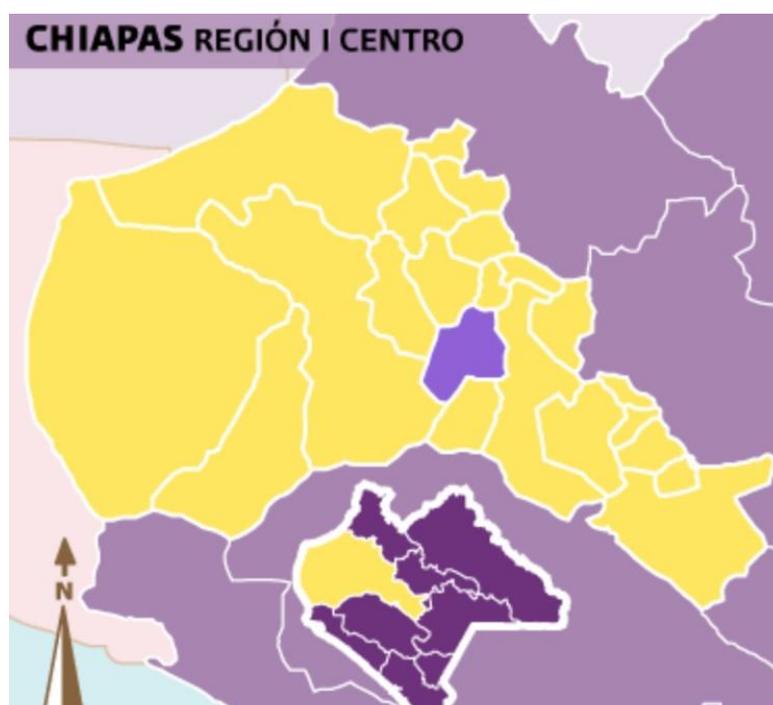
Una vez seleccionados se procedió a hacer una lectura juiciosa de los mismos y se realizaron 2 etapas de resúmenes para sintetizar la información, con ello se logra alcanzar una visión general del tema de estudio que involucra a la sociedad en general. No se trata de un mero problema de transporte, sino que también implica al medio ambiente y a las fuentes de energía. Esta revisión de la literatura ayudó para obtener el estado del arte del transporte en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, mismo que se narra en las líneas siguientes.

La zona de estudio de este trabajo es la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, la cual está ubicada en la Depresión Central presentando relieve montañoso tanto al sur como al norte, su extensión territorial es de 340.74 km², lo que representa el 3.26 % de la región Centro y el 0.55% de la superficie estatal, su altitud es de 600 msnm, limita al norte con San Fernando y Osumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla y Berriozábal. Los ríos más caudalosos son el Grande de Chiapa (Grijalva), el Suchiapa, y el Sabinal; este último

presenta en la actualidad un elevado deterioro. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano (INAFED, 2021).

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Intercensal 2015 (INEGI, 2015), en el municipio residen 598,710 personas, equivalente a 11.5% del total estatal; de estos 283,753 son hombres y 314,957 mujeres, que representan al 47.4% y 52.6% respectivamente; según el censo, existen 90 hombres por cada 100 mujeres, cifra inferior al indicador estatal que es de 94 hombres por cada 100 mujeres.

Ilustración 3 Ubicación de Tuxtla Gutiérrez en el Estado de Chiapas

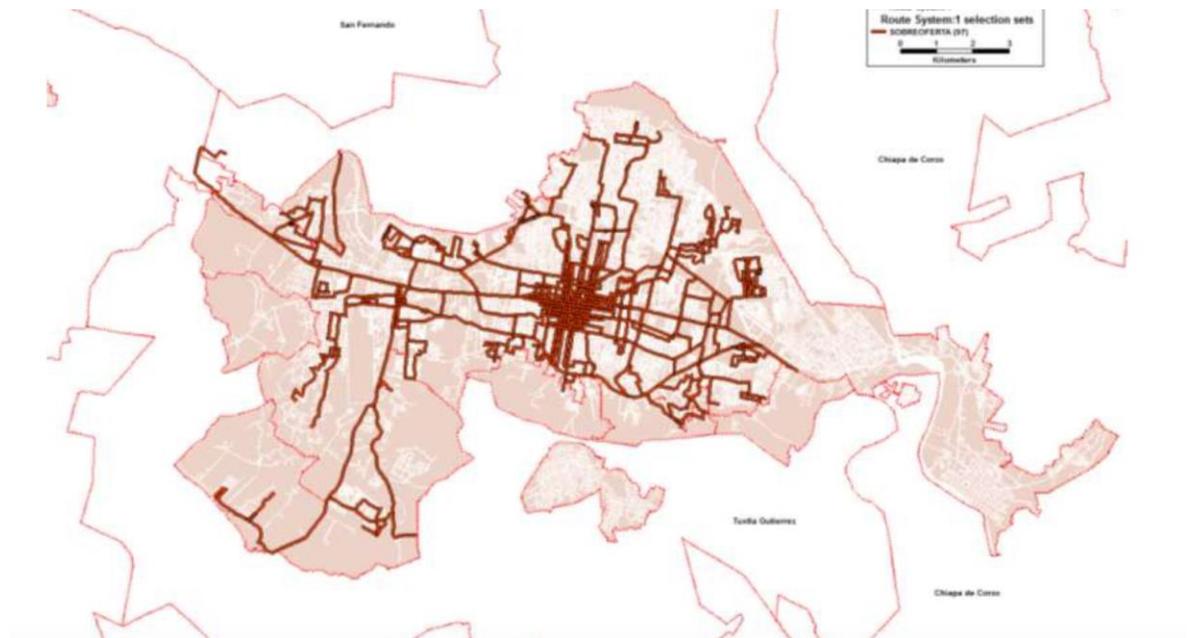


Fuente: INAFED, 2021

En cuanto al sistema de transporte urbano tipo combi, en la ciudad existen 126 rutas de transporte y 5 rutas suburbanas, teniendo un total de 131 rutas con aproximadamente 2,123 unidades y con 332,898 usuarios de este servicio; el total de viajes en transporte público es de 361,543 viajes diarios de los cuales 332,898 son generados en Tuxtla Gutiérrez, lo que representa el 91.1%, el 9.9% está distribuido en Berriozábal y Chiapa de Corzo. (Gobierno del Estado de Chiapas, 2016).

La gran mayoría de las rutas del transporte de Tuxtla tienen como destino en algún punto de su viaje el centro de la ciudad, siendo éste el lugar donde mayor congestión vehicular se presenta; la cobertura de las rutas de transporte de Tuxtla Gutiérrez pueden apreciarse en el siguiente mapa, tomado del plan integral de movilidad urbana sustentable de la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (2016), en el mapa se puede apreciar como la mayor concentración se encuentra en el centro de la ciudad.

Ilustración 4 Cobertura de las Rutas de Transporte de la Ciudad de Tuxtla



Fuente: Plan Integral de movilidad urbana sustentable de la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (2016)

Para el desarrollo de este trabajo se tomaron en cuenta solamente 3 rutas de transporte, debido a que al momento de la elaboración de este trabajo son las rutas que mayor alcance y facilidad representaban para el investigador; siendo estas rutas la número 3, 34 y 126.

Ilustración 7 Recorrido de la ruta 34 en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez

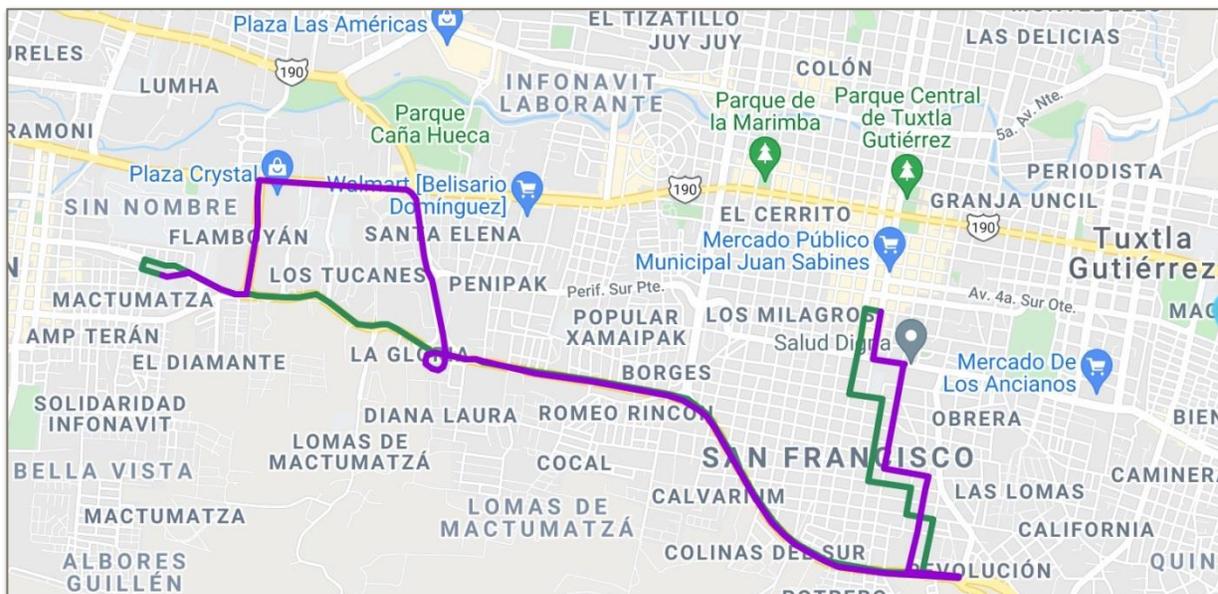
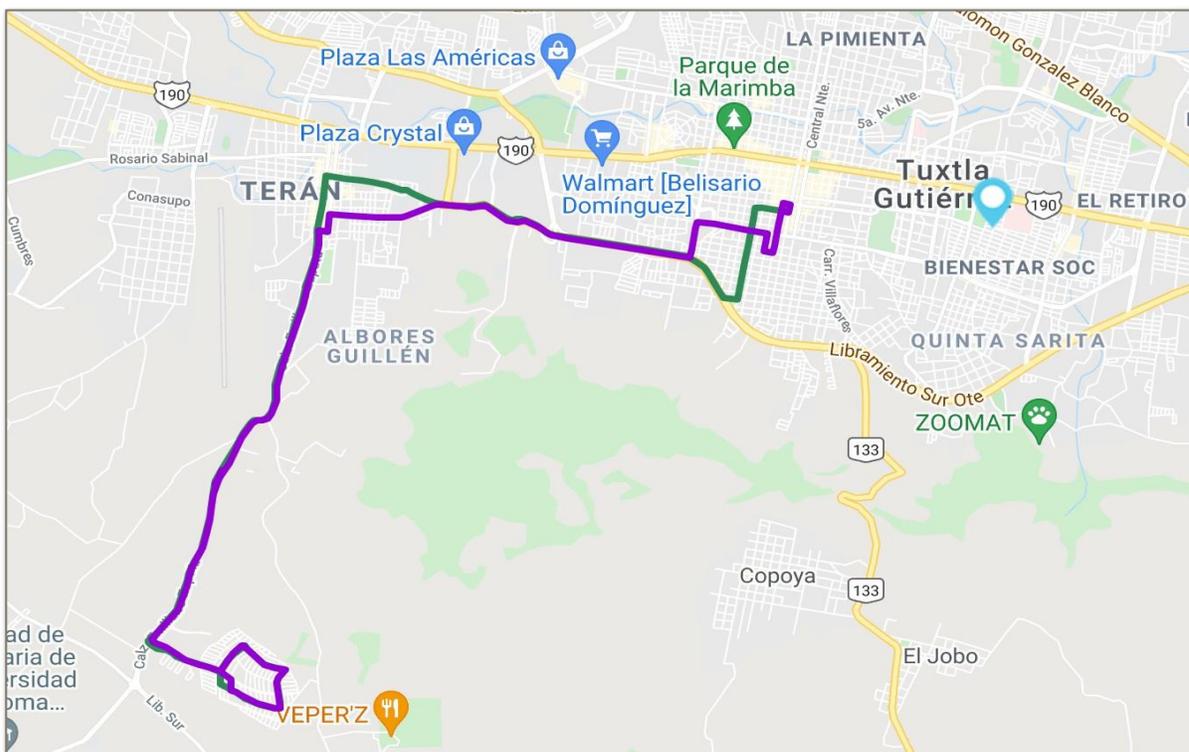


Ilustración 8 Recorrido de la ruta 126 en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez



Para obtener los kilómetros aproximados que recorren las unidades de esas tres rutas en una vuelta completa, se trazaron los recorridos tomados de la aplicación de Tux Mapa en el programa Google Earth (ilustración 11), quedando las distancias de la siguiente manera (tabla 2), esto ayudará

a evaluar la factibilidad de la conversión de las unidades convencionales a eléctricas, de acuerdo a la distancia y el gasto del combustible.

Tabla 2 Distancia recorrida por cada ruta en una vuelta

RUTA	DISTANCIA (km)
3	21.19
34	16.9
126	26.2

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9 Recorrido de las rutas del transporte seleccionadas



Fuente: Elaboración propia

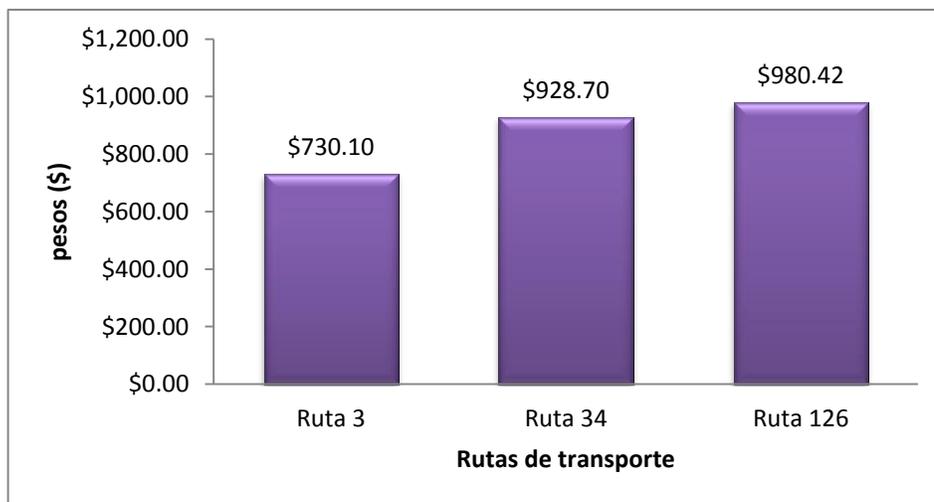
Así mismo se realizó una breve encuesta, a los choferes de las tres rutas seleccionadas, la encuesta se llevó a cabo el mismo día para las tres rutas y se le aplicó a los choferes que se encontraban en la “base” de la ruta . Las preguntas que se le realizaron a los chóferes pueden apreciarse la siguiente tabla (ver tabla 3)

Tabla 3 Preguntas a los chóferes de 3 rutas de transporte

Preguntas	
1	¿Qué modelo y año es la combi que maneja?
2	¿Cuántos litros de combustible le pone al tanque?
3	¿Cuánto en dinero representa esos litros?
4	¿Llena el tanque todos los días?
5	¿A qué velocidad viaja normalmente?
6	¿Cuántas vueltas realiza desde que sale de la base y qué duración tiene el trayecto?
7	¿Cuáles son los horarios y días con más afluencia de personas?
8	¿Debe entregar el auto con tanque lleno?
9	¿De cuánto son sus ganancias, descontando el gasto del combustible y su cuota?

Los resultados de la encuesta se plasmaron en gráficas, considerando solamente 3 preguntas como las de mayor relevancia para graficar, los resultados obtenidos se presentan en las siguientes gráficas.

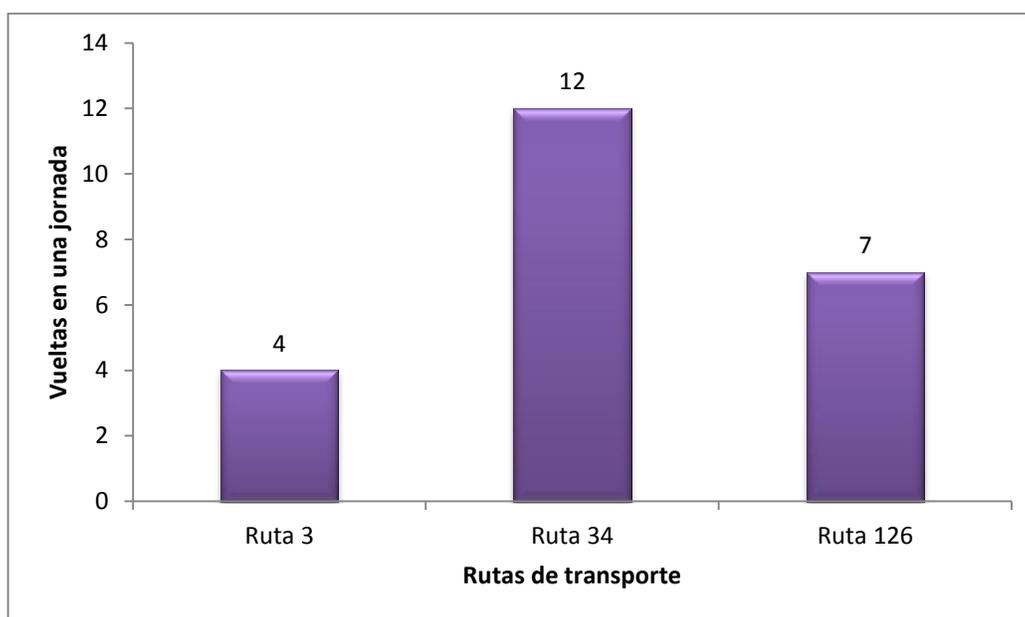
Gráfica 1 Costo de combustible por unidad



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 1 se presenta el costo que representa para los chóferes de cada unidad cargarle combustible a su combi, las unidades que manejan van desde modelo 2010 hasta 2016 pasando por 2013, estos vehículos traen tanques de combustible con capacidad de 65 litros en promedio, pero los choferes, mencionaron en la encuesta que nunca llenan el tanque a su máxima capacidad, esto debido al alto costo que generaría, por lo tanto señalan que llenan el tanque a aproximadamente 65% de su capacidad y con eso les alcanza para su jornada

Gráfica 2 Vueltas que realiza cada chófer en una jornada



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 2 se muestra el número de vueltas que realiza cada chófer en una jornada completa, estos datos fueron recolectados de la encuesta que se les realizó, por ejemplo el chófer de la ruta 3 mencionó que realiza un promedio de 4 vueltas en el tiempo que dura su jornada y cada vuelta le lleva aproximadamente 1 hora y media, el de la ruta 34 realiza un aproximado de 12 vueltas con duración de 1 hr cada vuelta y el de la ruta 126 realiza un estimado de 7 vueltas con duración de 1 hora 40 minutos cada una.

Como podemos notar, la duración de cada vuelta está en función de la distancia que recorren, siendo la de menor distancia y duración de recorrido la ruta 34, en comparación con la ruta 126 que es la que mayor tiempo realiza, sin embargo la jornada del chófer de la ruta 34 es más extensa que la jornada de los demás, llegando a extenderse hasta 12 hrs, debido a que a ser menordistancia, el chófer quiere obtener mayor ganancia realizando más vueltas.

Gráfica 3 Ganancia neta diaria de los chóferes



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3 se presenta la ganancia expresada por los chóferes en la encuesta, esta cantidad es el dinero que les queda diariamente después de su jornada y posterior a realizar el pago del combustible, como podemos apreciar la ganancia está en función del número de vueltas que realiza cada chófer, por ejemplo a pesar de la ruta 34 ser la de menor distancia en su vuelta, es la que mayor número de vueltas realiza, por eso la ganancia de ese chóferes mayor, en comparación con la ruta 126 que aun teniendo mayor distancia solo realiza 7 vueltas.

Para obtener un aproximado de los kilómetros que recorren en una jornada se aplicó la siguiente fórmula, así se pudo conocer la distancia total que abarca cada ruta

Ecuación 1 Distancia recorrida en una jornada completa laboral

$$dT = A(n)$$

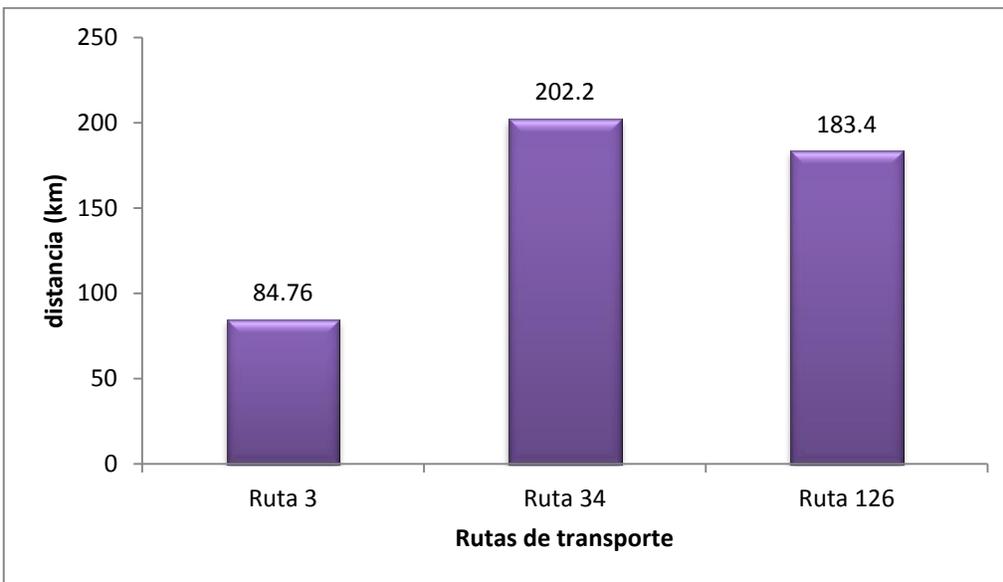
dT= distancia recorrida en una jornada completa laboral (km)A=

kilómetros recorridos en una vuelta completa (km)

n= número de vueltas dadas en una jornada

Después de haber aplicado la fórmula 1 los resultados obtenidos se expresan en la siguiente gráfica

Gráfica 4 Distancia total recorrida en cada ruta



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar la ruta que recorres mayor distancia en una jornada completa es la ruta 34, esto debido a que a pesar que su vuelta es de 16.9 km, realiza mayor número de vueltas (12) en comparación con la ruta 126 que aunque su vuelta es la de mayor extensión, realiza únicamente 7 vueltas.

Con esta información se procedió a obtener el rendimiento que tienen actualmente los automóviles de combustión utilizados como sistema de transporte tipo combi específicamente para las tres rutas de transporte mencionadas en este trabajo, utilizando una sencilla fórmula que a continuación se presenta

Ecuación 2 Rendimiento de combustible del vehículo

$$R = DT/L$$

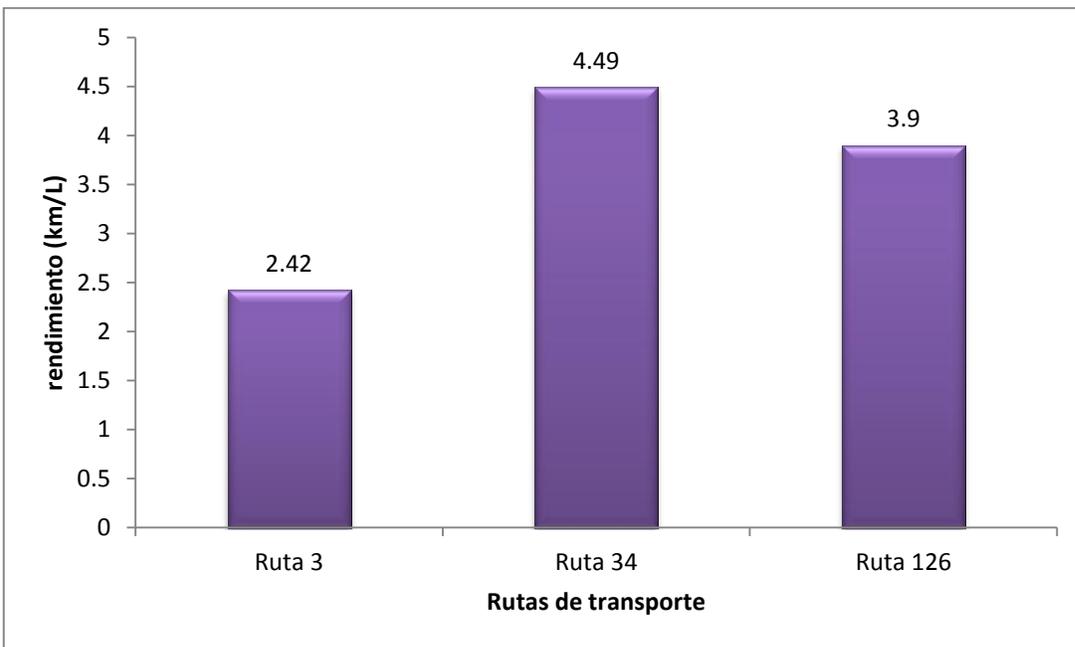
R= Rendimiento de combustible del vehículo

dT= Distancia recorrida en una jornada completa laboral (kilómetros)

L= cantidad de litros que se cargan en el tanque (Litros)

Los resultados de aplicar la fórmula fueron los siguientes expresados en la gráfica 5

Gráfica 5 Rendimiento por litro



Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la factibilidad de la conversión de las unidades convencionales a eléctricos, se tomó como muestras las tres unidades de transporte público a las cuáles se les realizó la entrevista, de esta forma se obtuvieron datos tales como, el modelo y año de su unidad, esto es importante ya que a mayor antigüedad mayor consumo de combustible y mayor gasto económico y por ende menores utilidades para los choferes, así mismo con esa información se puede obtener el precio de venta el cual se tomó de las páginas de las marcas para tener idea del costo de una unidad nueva, por ejemplo una unidad nueva con ventanas para 15 pasajeros tiene un costo de lista de \$603,900 la pura unidad. (Nissan, 2021)

También con la encuesta fue posible conocer la velocidad promedio a la que viajan, siendo esto importante para el cálculo de la factibilidad económica ya que los datos arrojan que el mejor escenario para un coche eléctrico es la ciudad y las calles donde se rueda de una forma constante a menos de 80 km/h (Actualidad Paradiso, 2020) y según la información recaba con los choferes ellos viajan a un promedio de 75 km/h. Así mismo es importante para la factibilidad económica conocer la distancia que recorren (esta se obtuvo con la fórmula 1) ya que los autos eléctricos cuentan con una autonomía de entre 150 a 250 km (Electrones en Movimiento, 2018) y las rutas

acá presentadas recorren entre 84.76 km y 202.8 km diarios; con esta información se puede definir que las unidades de transporte tipo combi de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez si cumplen con los criterios para ser factibles ante una conversión.

Posteriormente, combinando datos cualitativos y cuantitativos se determinó el tiempo de recuperación de la inversión de convertir un auto de combustión a uno eléctrico. Partiendo de los datos actuales.

Para obtener este cálculo se llevó a cabo una proyección desde tres perspectivas, la primera dónde se considera únicamente el gasto del combustible versus el gasto del consumo de energía (ver gráfica 6) ; la otra perspectiva considera el gasto del combustible versus la conversión y consumo de energía y finalmente una tercera vertiente, en la que se considera la adquisición de una unidad nueva de combustión con su respectivo gasto de combustible versus la inversión de la conversión junto con el gasto en consumo energético, se tomó como referencia un tiempo máximo de recuperación de 10 años, siendo este la antigüedad máxima a partir de la fecha de fabricación, de acuerdo al artículo 30 fracción II de la Ley de Transporte para el estado de Chiapas, de esta forma se pudo conocer en qué tiempo aproximado para los tres casos se recuperaría la inversión y si es factible o no. Para conocer el costo promedio de carga de coches eléctricos se utilizó la siguiente fórmula:

Se tomó como tamaño de la batería una batería 65 kW, que de acuerdo a potencia industrial (2021) tendría una autonomía de entre 200 y 250 km.

Ecuación 3 Costo de carga de un coche eléctrico

$$C = T(n)a$$

C= Costo para cargar un coche eléctrico de absolutamente vacío a lleno (una carga).

T= Tamaño de la batería (kWh)

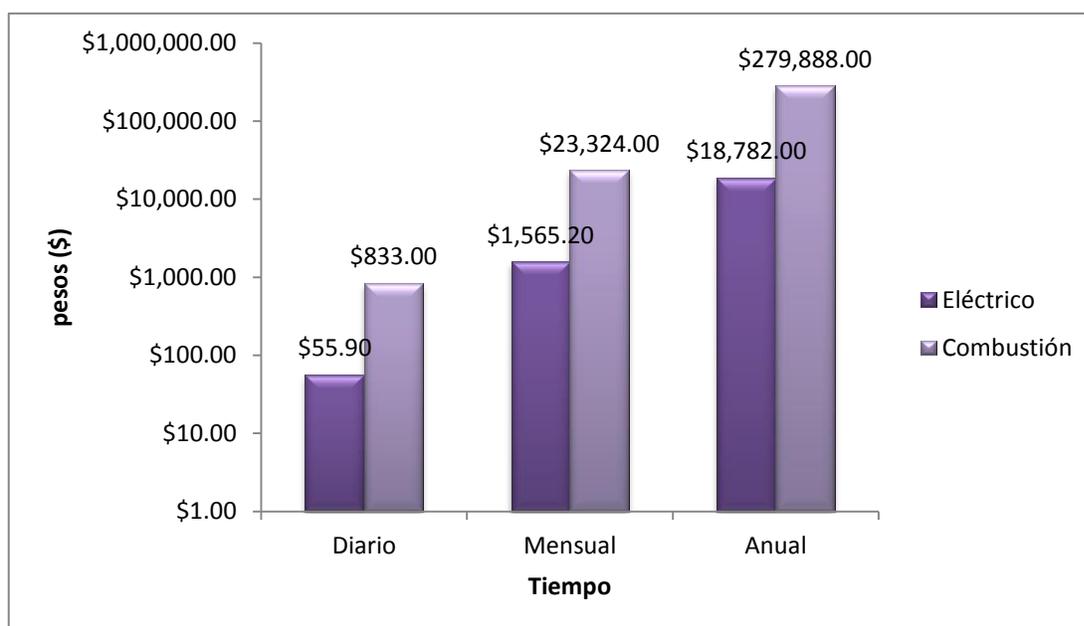
n= Costo de electricidad de su proveedor \$(kilovatio por hora)

El costo para cargar una combi eléctrica de absolutamente vacía a llena dio como resultado \$55.90, cifra que va de acuerdo a lo referido por CFE, en la que menciona que ellos tienen calculado que por cada 100 km son \$60, ya esto dependerá del costo de la tarifa eléctrica. Este costo es el que se gastaría el chófer de la combi para poder trabajar su unidad en el día, ya que recordemos que se considera tiene una autonomía de 150 km.

Para saber el costo del gasto de combustible se multiplicó la cantidad de litros que le son suministrados a la unidad por el precio del combustible al día de realizar los resultados, con esos datos se obtuvo cuánto gasta por jornada obteniendo como resultado un promedio de \$833 para un día, para posteriormente multiplicarlo por los días trabajados, en este caso 7 ya que trabajan toda la semana obteniendo como resultado \$5,831 semanales, después por cuatro para obtener el gasto mensual el cual dio como resultado \$23,324 y después por los 12 meses tomados como referencia obteniendo que en un año, el gasto económico de combustible asciende a \$279,888.

En la gráfica se puede apreciar de manera más visual los resultados obtenidos, en el cual el costo de la gasolina supera por mucho al costo de la energía eléctrica y desde el punto de vista del combustible, la conversión a auto eléctrico es más que viable.

Gráfica 6 Gasto del combustible VS. gasto de energía



Fuente: Elaboración propia

Para saber el costo de una conversión se tomaron como referencia los costos proporcionados por la empresa Conversiones a autos eléctricos en México para vehículos tipo combi, que es lo más parecido a las unidades que se manejan en Tuxtla.

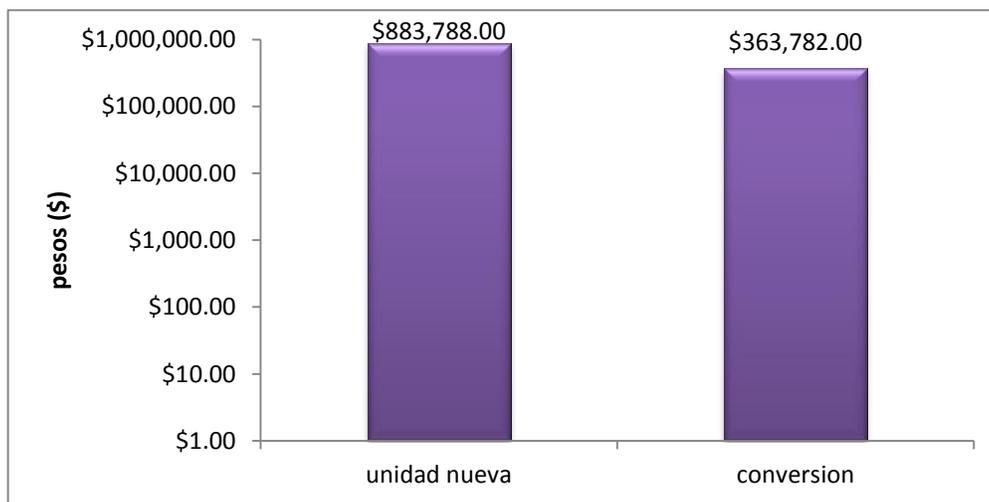
Se tomó para el caso de este trabajo el nivel de conversión 200-D en el que se contempla el precio del kit de conversión, el banco de baterías, insumos adicionales, modificaciones estructurales y mano de obra; este nivel de conversión de acuerdo a esta empresa tiene un costo de inversión de \$345,000.

Por lo tanto si tomamos en cuenta solo el gasto del combustible presentado anteriormente y el costo de la conversión, se recuperaría la inversión en 14.7 meses, cifra que hace factible la conversión, ya que como se mencionó anteriormente, el reglamento de tuxtla contempla a las unidades una vida útil de 10 años, con lo cual los otros 9 años serían ya de ganancia.

Ahora aplicando la otra perspectiva que contempla el gasto del combustible vs (conversión + gasto en energía) el tiempo de recuperación de la inversión sería de 15.5 meses, cifra que aún se encuentra dentro del rango otorgado por la secretaría de transporte de Tuxtla.

Si se compara el precio que sería de comprar una unidad nueva con su respectivo gasto de combustible, versus la conversión de una unidad existente con su gasto respectivo de energía; se obtendría los resultados que se presentan en la gráfica siguiente.

Gráfica 7 Costos de inversión



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la gráfica, el costo de convertir una unidad es menor a adquirir una nueva con su gasto de combustible; esto es importante para considerar por parte de los nuevos concesionarios en los que pueden comprar unidades usadas y convertirlas, y al ser eléctricas no estarían sujetas al tiempo establecido en el reglamento de Tuxtla por no emitir emisiones atmosféricas, siendo esta la principal razón que su motor no emite emisiones a la atmósfera.

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Como futuras líneas de investigación y para tener un análisis más preciso del costo beneficio se podrían incluir en este estudio variables como la evolución previsible del precio de la energía, el coste de fabricación, de los métodos de financiación, del mercado de segunda mano y de los gastos de mantenimiento; así mismo también se recomienda realizar el estudio a mayor escala contemplando más rutas de transporte.

Para impulsar la implantación de los sistemas de transporte eléctrico hay que contemplar multitud de iniciativas tanto privadas como públicas. Una de ellas sería informar al usuario en este caso al concesionario las ventajas que puede presentar dar el paso a la electromovilidad, tanto en términos económicos como ambientales. De este modo, el podrá valorar si se trata de una alternativa interesante para la utilización que vaya a realizar.

Será necesario implementar una red de infraestructuras de recarga uniforme en las distintas comunidades, tanto en espacios públicos como en las viviendas, principalmente en Tuxtla Gutiérrez. lugar donde se concentra la mayoría del transporte. Será esta labor de los 3 poderes de gobierno en colaboración con los distribuidores de energía en este caso la CFE, a las que se sumarán iniciativas privadas para conseguir tanto redes eléctricas inteligentes como nuevas fuentes de energía no contaminantes y más económicas.

Se deben crear incentivos para la adquisición de autos eléctricos, por ejemplo no pagar tenencia, o emplacamiento, así como reducir el pago de derechos al adquirir una concesión eléctrica

La imagen del vehículo eléctrico que percibe la sociedad está ligada a una cierta falta de seguridad, fiabilidad y de movilidad. Serían necesarias grandes campañas de marketing y de concienciación.

REFERENCIAS

- Coz García, A. (2018). *Contaminación derivada del consumo de un coche eléctrico en el mix energético español*. Cantabria.
- Frutos, P. (2021). *¿Es el coche eléctrico la solución para reducir emisiones?*
- Gachúz, J. C., & Montes, M. P. (2020). La industria automotriz en México y China: Oportunidades de complementariedad. *Latin American Journal of Trade Policy*, 68.
- García Mafud, C. R. (2018). *Plan Sectorial de Movilidad Urbana Sustentable para el eje metropolitano*. Tuxtla Gutiérrez, Puebla: BUAP.
- Green Peace México. (15 de Julio de 2019). <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/2693/los-autos-electricos>.. Obtenido de Green Peace México.
- Iglesias Jiménez, J. A., & Sánchez Martínez, A. (2019). *Construcción, control e instrumentación de un carro eléctrico*. TRABAJO. Ciudad de México: Universidad Autónoma de la ciudad de México.
- Instituto Nacional de Ecología y cambio . (2012). *Estudio de emisiones y actividad vehicular en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Ciudad de México: INECC.
- J. Carrillo, J. S. de los Santos Gómez y J. Briones, “Hacia una electromovilidad pública en México”, *Documentos de Proyectos* , Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
- León Estrella, F. L., & Salinas Poma, M. J. (2018). *Implementación y uso de autos eléctricos en el transporte público y su impacto en la red de distribución, Loja 2017*. Cuenca Ecuador.
- Loyzaga de la cueva, O. F., & Curiel Sandoval, V. A. (2015). Los trabajadores del autotransporte. *Alegatos* , 563-590.
- Martínez Angel, J. (2018). Movilidad motorizada, impacto ambiental, alternativas y perspectivas futuras para el área metropolitana del Valle de aburrá. *Salud Pública* , 126-131.
- Martínez Trejo, C. C. (2018). El transporte público de la Ciudad de México: un servicio en transición y resistencia al cambio. *Las ciencias sociales y la agenda nacional. Reflexiones y propuestas desde las Ciencias Sociales La*, 182-203.
- Medina Rosero, J. S. (2018). *Estudio e implementación de electrolinerías*. Quito, Ecuador: Quito USFQ.
- Molano Rodríguez, S. M. (2019). *Responsabilidad social empresarial y los autos electricos en el mercado colombiano*. Bogotá, Colombia: Universidad militar nueva granada.
- Olivera Villarroel, S. M. (2017). *Opciones de política para transitar hacia una senda de desarrollo baja en carbono. méxico*. Sucre, Bolivia: AROL.
- Sánchez Vela, L. G., Fabela Gallegos, M. d., Hernández Jiménez, J. R., Flores Centeno, O., Vazquez Vega , D., & Cruz Acevedo, M. E. (2020). *Estado del arte de la movilidad eléctrica en México* . Sandandilla, Qro.

- Sandoval-García, E. R., Franco-González, R. L. P. E., & Fernández-Morales, J. M. (2019). *Vehículos eléctricos: ¿Una solución para reducir los gases de efecto invernadero proveniente del sector transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México*1964
- Sebastian Villareal, A. (2018). *Prospectiva de vehículos alternativos en México al 2040*. Monterrey Nuevo León.
- Torres Sarmiento, J. D. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca*.
- Villa Contardo, J. N. (2020). *factibilidad económica de renovar un 30% de taxis colectivos urbanos por autos eléctricos EN Chile*. Santiago de Chile.