

**UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
SEDE DEL PACÍFICO
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

Carrera de Ingeniería Eléctrica

Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería Eléctrica

Estudio de viabilidad técnica y financiera para la sustitución de flotilla
vehicular de vehículos eléctricos en la
Municipalidad de Alajuela, Costa Rica

Estudiante
Kenneth Cooper Zúñiga

Mayo, 2021

El Roble-Puntarenas, Costa Rica

HOJA DE APROBACIÓN



Ingeniería Eléctrica
Sede del Pacífico



ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Puntarenas, a los 07 días del mes de mayo del año 2021 al ser las 13:00 horas, estando presentes en el Campus Juan Rafael Mora Porras de la Sede del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Profesor Tutor: Germán Vásquez Araya

Profesor Lector Externo: Alberto Renick Hernández

Profesor Lector Externo: Mauricio Céspedes Meléndez.

Presidente del Tribunal Examinador: Carlos Ruiz Rodríguez

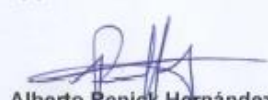
En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para evaluar el Proyecto de Graduación para optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería Eléctrica**, de las personas estudiantes, **Kenneth Cooper Zúñiga** cédula de identidad **110190253**.

Reunido el Tribunal Evaluador los aspirantes procedieron a presentar y defender su Proyecto de Graduación titulado **"Estudio de viabilidad técnica y financiera para la sustitución de flota vehicular de vehículos eléctricos en la Municipalidad de Alajuela, Costa Rica."**

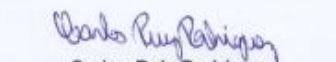
Concluida la presentación y defensa del Proyecto de Graduación, el Tribunal Evaluador consideró que, de conformidad con la normativa en la materia, las personas estudiantes obtuvieron una calificación de 88, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación del Proyecto y le es conferido el grado de **Licenciado en Ingeniería Eléctrica**.

No (x) Si () mención honorífica


Germán Vásquez Araya
Profesor Tutor


Alberto Renick Hernández
Lector Externo


Mauricio Céspedes Meléndez
Lector Externo


Carlos Ruiz Rodríguez
Presidente del Tribunal Examinador



Estudiantes:


Kenneth Cooper Zúñiga
Cédula 110190253

AGRADECIMIENTOS

Primordialmente, agradezco a Dios; por ser mi guía, mi fiel amigo y el consejero fundamental en mi vida. Al mismo tiempo, a mis seres queridos; quienes me acompañan en el diario vivir de las diferentes circunstancias de nuestro caminar de este viaje tan hermoso que se llama *vida*.

Al encargado de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica; el Ing. Carlos Ruiz Rodríguez, a la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UTN- Sede del Pacífico- y a cada uno de sus colaboradores por sus valiosos consejos y aportes en la supervisión y asesoría de este proyecto, cuya orientación, apoyo y dirección han sido baluartes importantes en la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica para conducir este trabajo de final de graduación y concluirlo satisfactoriamente.

A la Municipalidad de Alajuela, al proceso de Transporte y Taller (a cada uno de sus colaboradores) y a las jefaturas del Área de Servicios administrativos, a su Coordinador Lic. Claudio Aguilar Alfaro, y al Ing. Alberto Renick Hernández, Coordinador Desarrollo Organizacional, quienes me brindaron su apoyo para realizar este proyecto de investigación. A todos; muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios; primeramente, por darme lo que necesito en cada una de las diferentes circunstancias, en el momento preciso de mi vida, sin importar el cómo o el por qué.

Más allá también a mi Madre Mayra Zúñiga Cervantes; junto a mis tíos Elizabeth Zúñiga Cervantes y Luis Molina Calvo por su apoyo en los diferentes procesos de mi vida en la guía, ánimo y convicción para seguir adelante con mi proyecto de vida, en el apoyo incondicional y paciencia en todo este proceso sin importar las circunstancias.

Asimismo, a la familia Zúñiga Cervantes que estuvieron en varios aspectos a pesar de las circunstancias, para ser mi soporte, mi compañía y mi voz de aliento cuando las fuerzas físicas se deterioraban, finalmente a cada uno de los amigos por sus diferentes muestras de apoyo y felicitados recibidas.

TABLA DE CONTENIDOS

Página

ABREVIATURAS.....	x
GLOSARIO.....	xi
RESUMEN	1
CAPÍTULO I.....	3
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA	3
1.1 Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos	5
1.2 Justificación	5
1.3 Beneficios	7
1.4 Cobertura	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Europa un modelo en electrificación de vehículos	11
2.2 Movilidad eléctrica en Latinoamérica y el Caribe	14
2.3 Normas técnicas: vehículos eléctricos en Costa Rica	19
2.4 Autonomía vehículos eléctricos	22
2.5 Requerimientos recarga vehículos eléctricos (VE)	26
2.5.1 Accesorios y conectores de recarga de VE	30
2.6 Ubicación de estaciones recarga VE.....	34
2.7 Proyectos de vehículos eléctricos en Costa Rica.....	36
CAPÍTULO III	39
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
3.1 Diagnóstico de la flota vehicular de la Municipalidad de Alajuela	40
CAPÍTULO IV	47
PROPUESTA	47
4.1 Análisis de resultados financieros costo-beneficio	48
4.2 Propuesta de implementación del proyecto.....	60
CAPÍTULO V.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69

CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS.....	76
Anexo 1 Carta revisión filológica.....	76
Anexo 2 Carta autorización Cesión de derechos	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas Técnicas para vehículos Eléctricos en Costa Rica.	20
Tabla 2. Parámetros de alimentación máxima en A.C. de centros de recarga.	27
Tabla 3. Etiquetado y simbología de estaciones de recarga.....	30
Tabla 4. Conectores mínimos en centros de recarga.....	32
Tabla 5. Beneficio de exoneraciones de VE por cinco años.	37
Tabla 6. Cantidad de flotilla vehicular automóviles Municipalidad de Alajuela.	40
Tabla 7. Descripción comparativa por cantidad kilómetros recorridos.....	43
Tabla 8. Descripción comparativa por cantidad de emisiones de Ton CO _{2e}	45
Tabla 9. Premisas económicas 2020-2030.	50
Tabla 10. Variables costos de la inversión vehículos combustión.	51
Tabla 11. Variables costos de la inversión vehículo eléctrico.	52
Tabla 12. Comparación financiera inversión vehículo eléctrico en el presente.	57
Tabla 13. Flujo de caja del proyecto de inversión.	58
Tabla 14. Indicadores proyecto de inversión.....	59
Tabla 15. Propuesta tiempo de implementación del proyecto.	63
Tabla 16. Detalle cronología de tiempo propuesta del proyecto.	63
Tabla 17. Etapa de inicio del proyecto.....	64
Tabla 18. Etapa de planificación del proyecto.	65
Tabla 19. Propuesta planificación gestión del proyecto.	65
Tabla 20. Propuesta ejecución gestión del proyecto.	66
Tabla 21. Propuesta de monitoreo, control y post implementación.	67
Tabla 22. Etapa de cierre.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vehículo Eléctrico Tesla	10
Figura 2. Evolución y cuota de emisiones de CO ₂ e en España en 2016	12
Figura 3. Mercado de vehículos eléctricos primer semestre 2019	13
Figura 4. Fotografía centros de carga rápida Sao Paulo, Río de Janeiro	16
Figura 5. Fotografías centros de carga rápida CHAdeMO CNFL S.A.	17
Figura 6. Fotografías centros de carga rápida CHAdeMO CNFL S.A.	18
Figura 7. Vehículo eléctrico Lexus UX 300e con sistema de batería	19
Figura 8. Oferta de vehículos eléctricos, agosto 2020	24
Figura 9 Acumulado de vehículos eléctricos en Costa Rica, junio 2020	25
Figura 10 Gráfico correspondiente crecimiento transporte eléctrico	26
Figura 11. Tipo I de recarga vehículos eléctricos	27
Figura 12. Tipo II de recarga vehículos eléctrico	28
Figura 13. Tipo III de recarga vehículo eléctrico	29
Figura 14. Tipo IV de recarga vehículo eléctrico	30
Figura 15. Conectores por fabricantes de vehículos eléctricos	33
Figura 16. Propuesta tiempo de implementación del proyecto	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Puntos de recarga y distribución de conectores.	35
Gráfico 2. Comparación de vehículos por tipo de combustible	42
Gráfico 3. Comparación de vehículos kilómetros recorridos.....	44
Gráfico 4. Emisiones de gases efecto invernadero Ton CO _{2e} por vehículo	45
Gráfico 5. Comparativa recuperación de la inversión del proyecto	60

ABREVIATURAS

ARESEP: Autoridad Reguladora de Servicios Públicos.

AR-NT-SUCAL: Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión.

AR-NT-SUCOM: Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión.

AR-NT-SUINAC: Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas.

AR-NT-SUMEL: Supervisión del uso, funcionamiento y control de medidores de energía eléctrica.

CNFL: Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.

CIER: Comisión de Integración Energética Regional.

GBPS: Gigabit por segundo.

VE: Vehículo Eléctrico.

GLOSARIO

AR-NT-SUCAL: Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión.

AR-NT-SUCOM: Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión.

AR-NT-SUINAC: Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas.

AR-NT-SUMEL: Supervisión del uso, funcionamiento y control de medidores de energía eléctrica.

IEEE: Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, por sus siglas en inglés). Asociación mundial dedicada a la estandarización y al desarrollo en áreas y normas técnicas.

LASIMEE: Laboratorio de Sistemas de Medición de Energía Eléctrica.

SUCURSAL: Centro de atención para todos los clientes del área servida por la CNFL S.A. para realizar pagos y todos los trámites correspondientes de la gestión del servicio eléctrico.

AUTOMÓVIL ELÉCTRICO: Vehículo automotor propulsado por energía cien por ciento eléctrica, que no contenga motor de combustión, destinado al transporte de personas con una capacidad máxima de hasta ocho pasajeros, según su diseño.

CENTROS DE RECARGA RÁPIDA Y SEMIRÁPIDA: Estación de suministro o comercialización de energía eléctrica para la recarga de las baterías de los automóviles eléctricos. Comprende el espacio de parqueo donde los usuarios pueden recargar sus automóviles y al menos un

dispensador para recarga de energía eléctrica. Los centros de recarga para efectos de este reglamento utilizarán dispensadores para recarga rápida de energía eléctrica.

DISPENSADOR PARA RECARGA RÁPIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA:

Equipo que suple la energía eléctrica para la recarga de los automóviles eléctricos y que se conecta directamente a la red eléctrica o fuente de energía, el cual se alimenta con una tensión trifásica en corriente alterna con una potencia igual o superior a 50 kW y entrega corriente directa mediante los conectores tipo ChadeMO y CCS u otro tipo de conector que defina la Administración.

DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN: Actividad que tiene por objeto el trasiego y la venta de electricidad para satisfacer la demanda eléctrica de terceros o en un punto de interconexión distinto del sitio de donde se genera la electricidad. Esta actividad incluye la medición, lectura, facturación, el cobro de energía entregada y otras actividades relacionadas con la atención de los clientes finales en un sector o región; ya sean industriales, generales o residenciales; así como el servicio de alumbrado público.

ESTACIONES DE VENTA DE COMBUSTIBLES O DE SERVICIOS

AFINES: Las que están autorizadas a prestar el servicio público de conformidad con la Ley de la ARESEP y su reglamento, Decreto Ejecutivo número 30131-MINAE-S, *Reglamento para la regulación del sistema de almacenamiento y comercialización de hidrocarburos*.

PARQUEO PÚBLICO: Servicio de guarda y custodia de vehículos automotores en lotes o inmuebles, en general, dedicados a tales propósitos, que se identifiquen como "estacionamientos públicos" y en donde el carácter remunerativo constituye un aspecto esencial de la actividad.

RESUMEN

Este trabajo de investigación consiste en desarrollar el análisis de viabilidad técnica y financiera para la sustitución de flotilla vehicular de vehículos de combustión en la Municipalidad de Alajuela, Costa Rica.

Esto, desde la perspectiva de la descarbonización de Costa Rica, bajo la nueva economía costarricense del siglo XXI que promueve una visión positiva, innovadora e inspiradora del futuro con rutas de cambio en las áreas claves para revertir el crecimiento de emisiones de gases de efecto invernadero, así como el fomento de la modernización y dinamización de la economía bajo una visión de crecimiento verde. Esta investigación pretende promover los compromisos de planificación de la descarbonización del país para el periodo 2018-2050.

El desarrollo de sistemas de movilidad basado en transporte eléctrico seguro, eficiente y renovable es parte esencial de la era actual como parte del desarrollo y la transformación de la flota de vehículos ligeros a cero emisiones que pueden ser nutridos de energía renovable. Además, se pretende que se adopten modalidades, tecnologías y fuentes de energía de cero emisiones o las más bajas posibles en la consolidación y disrupción del vehículo eléctrico en el plano nacional e internacional con alta flexibilidad, inteligencia y resiliencia necesaria para abastecer y gestionar las necesidades de la economía, entre otros. (Ministerio de Ambiente y Energía -MINAE-, 2019).

Al mismo tiempo y, de acuerdo con estos compromisos, se fomentará un transporte que adopte estos principios, tecnologías y fuentes de energía, puesto que es un gran reto que debe ser consolidado bajo una modalidad nacional con la capacidad, flexibilidad,

inteligencia y resiliencia necesaria para abastecer y gestionar una movilidad eléctrica a costo competitivo y accesible para la población (MINAE, 2019).

Cabe mencionar que la finalidad del proyecto será el desarrollo de un estudio de viabilidad técnica y financiera que presente análisis comparativos del mercado de vehículos eléctricos, autonomía, beneficios, desarrollo de indicadores financieros como el VAN, TIR, relación costo/beneficio, índice de rentabilidad y periodo de recuperación de la inversión para sustituir la flota vehicular de vehículos eléctricos en la Municipalidad de Alajuela, Costa Rica.

CAPÍTULO I
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA

Actualmente, la Municipalidad de Alajuela no cuenta con un plan estratégico alineado a la descarbonización a cero emisiones directas de vehículos livianos de inyección a gasolina y diésel, en el que se considere el costo operativo de implementación de un sistema de movilidad eléctrica en la sustitución de flotilla vehicular que genere acciones positivas de orientación y desarrollo organizacional en la Municipalidad en materia de transporte y vehículos.

Cabe mencionar, además, que la Municipalidad deberá estar alineada al Plan Nacional de Transporte Eléctrico, acorde a sus competencias y requerimientos, los cuales sirven como marco de referencia para el futuro desarrollo del proyecto de movilidad eléctrica, en el acatamiento de la normativa vigente. Por ejemplo; el Decreto ejecutivo N.º 41642-MINAE, la Ley N.º 9518 de Incentivos y promoción para el transporte eléctrico, Reglamento para la construcción y el funcionamiento de la red de centros de recarga eléctrica para automóviles eléctricos por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, Plan Nacional de Transporte Eléctrico (PNTE) 2018-2030. Además, el Plan de descarbonización de desarrollo e inversiones públicas (2018-2022), el Plan Estratégico Costa Rica 2050 y definitivamente el Plan Nacional de Energía 2015-2050.

Esta propuesta esboza desarrollar un análisis preciso de la sustitución de la flotilla vehicular de combustión a gasolina y diésel por transporte de movilidad eléctrica, acorde a las necesidades de la Municipalidad, lo que atiende las necesidades atinentes a las regulaciones y la normativa vigente de la jurisdicción del cantón.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica y financiera para la sustitución de vehículos de combustión en la Municipalidad de Alajuela, enfocado en conservar el medioambiente, por medio de un análisis técnico y financiero.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar, mediante herramientas tecnológicas, visitas de campo y el criterio de expertos, entre otros, el estado actual de la flotilla vehicular de vehículos de combustión a gasolina y diésel para la sustitución y disminución de la huella de carbono; alineado al Plan Nacional de Transporte Eléctrico y al compromiso del gobierno a través del Plan de Descarbonización para Costa Rica.
2. Analizar los modelos de tecnologías aplicados en los sistemas de movilidad eléctrica para establecer el (los) modelo(s) viable(s) en la Municipalidad de Alajuela, por medio de las diferentes agencias distribuidoras de vehículos y la ASOMVE (Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica).
3. Elaborar un análisis técnico–financiero a través de los diferentes parámetros e indicadores encontrados en la Municipalidad, los cuales permitan encontrar una solución para la definir recomendaciones, beneficios de rentabilidad y competitividad justificables para el desarrollo del cambio de flotilla vehicular en la Municipalidad de Alajuela.

1.2 Justificación

La justificación del proyecto parte desde varios análisis; por ejemplo, actualmente la Municipalidad de Alajuela desconoce el costo operativo del desarrollo de un proyecto de movilidad eléctrica y sustitución de flotilla vehicular, de acuerdo con sus necesidades en cuanto a la atención y al

resguardo del cantón central de Alajuela, las cuales permitan reducir las emisiones de gas efecto invernadero y la renovación del parque vehicular. Además, sería una de las primeras municipalidades modelo de la disrupción del vehículo eléctrico en el ámbito nacional y tecnológico, lo cual maximizaría los recursos y las actividades de la municipalidad.

Cabe indicar que, además, se adoptarían las recomendaciones del Plan Nacional de descarbonización para la Municipalidad de Alajuela, el cual tiene como objetivo revertir el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsando, así, el desarrollo de políticas y acciones de promoción en el proceso sostenible y la protección efectiva del medioambiente del cantón.

Cabe mencionar que, entre los años 2013 y 2014, el mayor crecimiento vehicular en Costa Rica correspondió a las motocicletas, con un 13,3%, cuyo número pasó de 254.990 a 289.015; seguido de los autobuses, que aumentaron un 5,3% y los taxis disminuyeron en un 1,1%. (Informe Estado de la Nación C.R. CONARE, 2015)

A su vez, conviene mencionar que el cantón central de Alajuela está compuesto por 14 distritos; entre ellos Alajuela, San José, Carrizal, San Antonio, Guácima, San Isidro, Sabanilla, San Rafael, Río Segundo, Desamparados, Turrúcares, Tambor, La Garita y Sarapiquí de acuerdo con la División Territorial de Costa Rica de 2017. Se desea explorar los criterios del MINAE (2019) para la descarbonización de vehículos, como exoneraciones y beneficios que mejoren la calidad de vida de la ciudadanía y garanticen condiciones apropiadas para sus habitantes; tales como salud y protección social en el cambio climático y sus efectos.

Posteriormente será oportuno determinar cuántas estaciones de recarga existen en el cantón, si se considera la necesidad de la Municipalidad de

Alajuela por velar por su operatividad y la cobertura al considerar las distancias mínimas para su instalación. Por ejemplo, en el caso de carreteras nacionales debe ser 120 km y 80 km, para caminos cantonales de acuerdo con lo que se indica en el Plan Nacional de Transporte Eléctrico de las estaciones de recarga semirápidas y rápidas que en su mayoría pertenecen a las diferentes empresas eléctricas o bien están en convenio por n desarrolladores inmobiliarios o las agencias distribuidoras de vehículos. (MINAE, 2019, p. 59)

1.3 Beneficios

- a) Obtener avances significativos con el análisis integral y tecnológico de movilidad eléctrica.
- b) Disponer de la capacidad tecnológica de la Municipalidad de Alajuela para satisfacer las necesidades actuales y futuras de operación, basados en las nuevas tecnologías, en la complejidad y seguridad de la información de los sistemas como parte del compromiso con la ciudadanía de fortalecer la ruta de la transparencia activa, junto con el uso de los datos abiertos para la consulta, uso y difusión de la información pública.
- c) Ofrecer a la Municipalidad de Alajuela información oportuna en cuanto a formación académica con sus respectivos análisis metodológicos, los cuales contribuyan a la toma de decisiones municipales para su respectivo Plan Operativo Anual, al Plan Estratégico institucional y al Plan de Desarrollo Cantonal en el tema de movilidad eléctrica del cantón.

1.4 Cobertura

En cuanto a la cobertura del proyecto, este está relacionado con el Área de Servicios Administrativos y de Desarrollo Organizacional, específicamente con el proceso de transporte y el taller de la Municipalidad de Alajuela.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El primer vehículo eléctrico fue diseñado por Robert Anderson en 1830, quien diseñó un coche de batería no recargable del cual surgieron diversas mejoras, como es el caso del vehículo eléctrico capaz de tener una autonomía de 100 km/h en el año de 1899, conocido como “Jamais Contente “. (Serrano, 2018)

Cabe rescatar que, alrededor de la segunda década del siglo XX, el precio de un vehículo eléctrico rondaba aproximadamente entre los US \$1750 hasta los US \$3000, en comparación con un modelo Ford Model T, cuyo precio en ese momento era de US \$650, de acuerdo con la Consejería de Economía y Hacienda de la comunidad de Madrid, 2015. Al mismo tiempo, cabe mencionar que los vehículos eléctricos perdieron la batalla con los de combustión porque no existía el desarrollo tecnológico que existe hoy para las baterías y la carga del vehículo, dado que la relación de velocidad y carga hacía que estos vehículos fueran muy “lentos”, además de poca autonomía; esta condición fue aprovechada por el desarrollo de carros de combustión, los cuales brindaban mayor autonomía y velocidad para llegar en menor tiempo al destino final de cada usuario.

No obstante, para la década final el siglo XX, los vehículos eléctricos tuvieron una gran revolución: como bien se sabe, se dio la entrada de las primeras motorizaciones híbridas entre los años 1997 y 1999; mismas que fueron de gasolina apoyadas por propulsores eléctricos, lo cual generó el primer paso en la adquisición de un vehículo de cero emisiones. En la actualidad se ha demostrado, con creces, su buen desempeño, funcionalidad y viabilidad segura de cero emisiones (García, 2009).

Quizás el vehículo más característico en esta clase a lo largo del tiempo ha sido el modelo Prius de Toyota Motor Corporation, cuya tercera generación sigue evolucionando en la actualidad, como también los modelos Insight y Civic Hybrid, cuyo fabricante es Honda, que acumuló ventas de estos vehículos híbridos en el año de 1999 de alrededor 402.390 unidades en todo el mundo desde que se comercializó su primer modelo (García, 2009). No obstante, en la actualidad el

mercado de la automoción experimenta más cambios en los últimos años que en toda su historia, pues los vehículos han mejorado en seguridad, rendimiento, diseño y conectividad.

Pero no fue hasta el siglo XXI que renació el vehículo eléctrico, debido en gran medida al cambio climático, con el objetivo de crear un vehículo eléctrico o cero emisiones. Tesla Motors, empresa estadounidense fabricante de vehículos eléctricos, nació en el año 2003 y está ubicada en Silicon Valley. Con Elon Musk como principal fundador, surgió la comercialización de sus vehículos eléctricos (ver figura 1), mediante un automóvil deportivo dirigido a un público con alto poder adquisitivo. Luego, con el pasar del tiempo, se dirigió a un público más convencional con nuevos modelos, siendo así que el incremento del uso de vehículos eléctricos en el plano mundial fue su principal misión, se aceleró la transición hacia el vehículo eléctrico, pues se ofrecieron vehículos más accesibles al mercado con innovación energética y apostaron por sus investigaciones sin escatimar en costos para la búsqueda de la tecnología renovable a gran escala al menor costo posible. (Alvarado, Palacios y Durán, 2019).

Figura 1. Vehículo Eléctrico Tesla



Fuente:

<https://www.hibridosyelectricos.com/media/hibridos/images/2018/06/28//2018062812103870619.jpg>

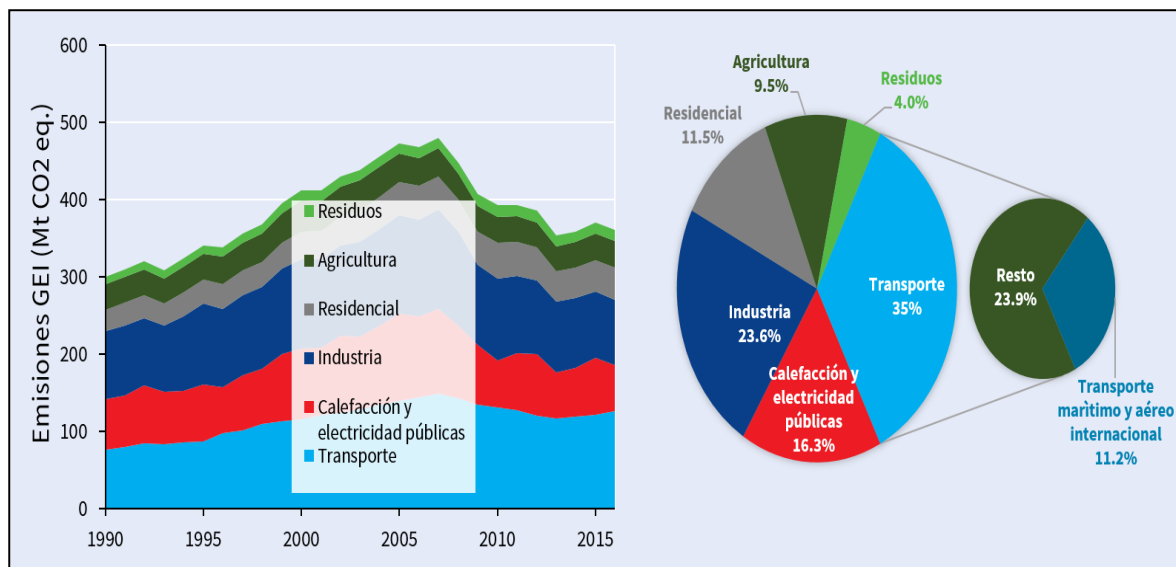
2.1 Europa un modelo en electrificación de vehículos

El mundo está en una revolución hacia la movilidad eléctrica dentro la industria automotriz y el viejo continente no es la excepción. Por ello, en el año 2009, España consideró el resurgir lanzando el proyecto MOVELE en manos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, de acuerdo con Serrano (2018).

Por su parte, la Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente, comúnmente denominada Transporte & Medio Ambiente (T&E por sus siglas de su denominación en inglés, Transport & Environment) es un paraguas europeo para organizaciones no gubernamentales que trabajan en el campo del transporte y del medioambiente. Cabe indicar que T&E promueve el transporte sostenible en Europa, lo que significa plantear el transporte de manera ambientalmente responsable, económicamente sólida y socialmente justa.

De acuerdo con la publicación de T&E (2017) sobre las emisiones de los vehículos eléctricos -los cuales emiten menos CO₂- un vehículo durante todo su ciclo de vida, incluso cuando funciona con la electricidad más sucia y en aquellas naciones que tienen las mezclas energéticas con el mayor contenido de carbono, como Polonia y Alemania, emite un 25% menos que un diésel. Mientras tanto, en Suecia, un vehículo eléctrico emite un 85% menos durante todo su ciclo de vida, de manera que los niveles de las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido (gCO₂/km) son uno de los principales gases contaminantes de efecto invernadero de emisiones en Europa.

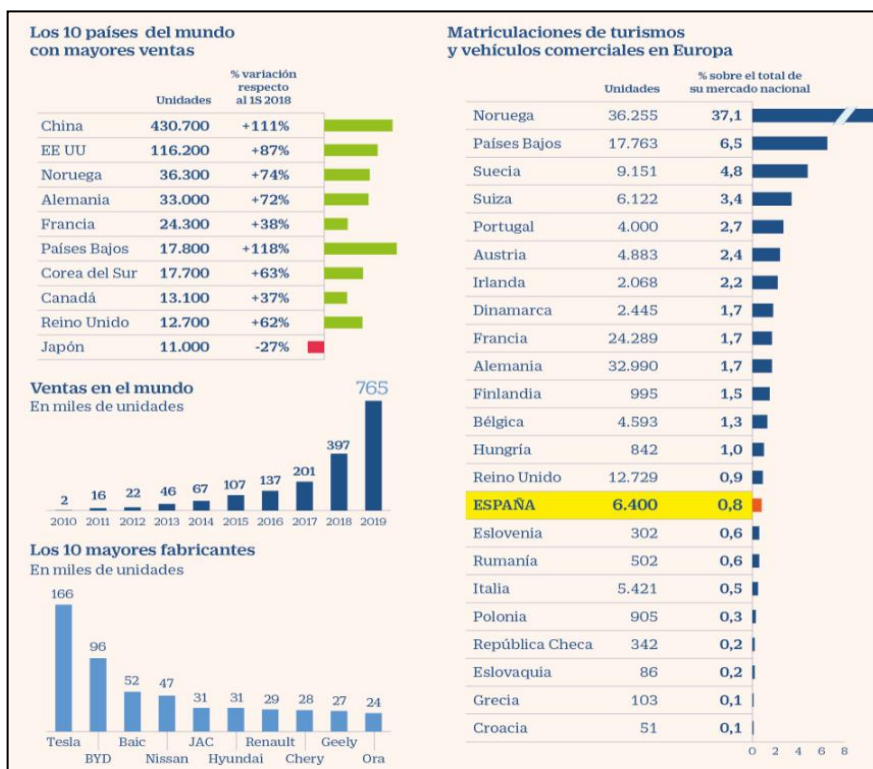
Asimismo, cabe mencionar que en España, a partir del año de 1990, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de todos los sectores (incluido el "bunker"); es decir, las emisiones de la aviación y del transporte marítimo internacional pasaron de 300 Mt CO₂e a 477 Mt CO₂e: un aumento del 59%. Esto representa una tasa de crecimiento interanual del 2,7%, como se aprecia en la figura 2. (Transport & Environment, 2018).

Figura 2. Evolución y cuota de emisiones de CO₂e en España en 2016

Fuente: Transport & Environment, 2018

Según los datos de pronóstico de producción de vehículos ligeros adquiridos por T&E del proveedor de información global (conocido por sus siglas en inglés como IHS Markit) con sede en Londres, se espera que la producción de vehículos eléctricos en Europa se multiplique por seis entre el 2019 y el 2025, alcanzando más de 4.000.000 de automóviles y camionetas, lo que representa más de una quinta parte de los volúmenes de producción de automóviles de la Unión Europea (UE).

Cabe mencionar que, de acuerdo con el Periódico Global el País (España, 2019), China encabeza por ser líder la carrera del coche eléctrico con el 56% de los registros, ya que ocho de los diez mayores fabricantes de estos vehículos son asiáticos, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Mercado de vehículos eléctricos primer semestre 2019

Fuente: Periódico Global el País (3 ENE-España, 2019).

Asimismo, de acuerdo con una publicación de la European Federation for Transport and Environment (AISBL, 2019), también se espera que el suministro de baterías fabricadas en la UE sea suficiente después del 2023, siempre y cuando se entreguen los planes actuales de vehículos eléctricos, dado que actualmente existen -o es probable que se conecten en Europa- al menos 16 instalaciones de fabricación de celdas de batería de iones de litio a gran escala, que entregarán hasta 131 GWh de capacidad de producción de baterías en el año 2023 (creciendo a 274 GWh en 2028).

Ahora bien, la demanda en el año 2023 será necesaria para electrificar vehículos (automóviles, furgonetas, autobuses y camiones) y para baterías de almacenamiento estacionarias que, según estima T&E es de alrededor de 130 GWh o dentro de la capacidad planificada, siempre que se entregue en la línea a tiempo.

2.2 Movilidad eléctrica en Latinoamérica y el Caribe

En cuanto a Latinoamérica y el Caribe, existen metas claras en relación con descarbonizar el transporte, lo cual representa uno de los principales retos para cumplir con los fines de reducción definidos por los países, a través de sus contribuciones determinadas en el contexto del Acuerdo de París, conforme a la electrificación de los sistemas de transporte. Por ende, presentan una acción contundente para transformar la movilidad y, a la vez, mejorar la calidad de vida. Sin duda, la movilidad eléctrica es una de las mayores revoluciones que están ocurriendo en muchos países de América Latina y del Caribe, los cuales deben continuar fortaleciendo sus esfuerzos para ser parte de este cambio transformador. (ONU, 2018).

Cabe mencionar que América Latina y el Caribe representan una de las regiones más urbanizadas en el planeta. De acuerdo con datos de la ONU Hábitat, cerca del 80% de la población vive en ciudades y el número de ciudades ha aumentado seis veces en los últimos 50 años. Por su parte, las tasas de motorización también han venido en aumento, donde las proyecciones para el año 2050 indican que la flota vehicular en la región podría triplicarse en los próximos 25 años, hasta llegar a superar los 200 millones de unidades. Es por ello que, a través de la plataforma MOVE, la región ha conseguido introducir la movilidad eléctrica en las agendas nacionales de los países y construir un espacio donde expertos internacionales puedan compartir sus conocimientos desde distintas líneas de expertos sobre esta transición tecnológica.

En relación con el avance de la región de Latinoamérica y el Caribe, se está avanzando con pasos firmes hacia la transformación del transporte, donde la transición a la movilidad eléctrica ha crecido exponencialmente en los últimos años. En setiembre del año 2018 se alcanzó el récord de cuatro millones de vehículos eléctricos vendidos a nivel global según (ONU, 2018).

Si bien la región de América Latina y el Caribe no es líder en esta transformación, pues ya existen resultados contundentes. Por ejemplo, den el 2018 Colombia rompió el récord con más de mil vehículos eléctricos vendidos –el más alto hasta la fecha en esta región-. Otro caso es Chile, que presentó las características esenciales de la nueva licitación del Transantiago (operador de buses de Santiago), la cual plantea un nuevo modelo de estructura contractual para la incorporación masiva de buses eléctricos en el sistema de transporte público de la ciudad.

Asimismo, ciudades como Bogotá, Loja, Santiago y Ciudad de México ya cuentan con flotas de taxis eléctricos y otros países, como Uruguay, Brasil y también México instalaron corredores interprovinciales de recarga rápida de vehículos eléctricos.

En cuanto a América Central, se destaca a Costa Rica, pues a finales del año de 2017 aprobó la primera ley integral de promoción e incentivo al transporte eléctrico.

Argentina lanzó el desarrollo de su Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica en mayo del año 2018 con el apoyo de ONU Medio Ambiente, ya que estaba retrasado en términos de incentivos e infraestructura para la movilidad eléctrica.

Figura 4. Fotografía centros de carga rápida Sao Paulo, Río de Janeiro



Fuente: Movilidad Electrica, Avances en Latinoamérica, 2020).

Brasil es uno de los mayores fabricantes de vehículos en el mundo y se resalta que el país ha apostado por incorporar biocombustibles para abastecer el transporte predominante. Como consecuencia, los vehículos de combustible flexible en los últimos 15 años han aumentado a más del 60% de los automóviles y de vehículos comerciales livianos los cuales funcionan con motores de combustible flexible; esto representa 35 millones de automóviles.

Por tanto, para algunos, la movilidad eléctrica se percibe como un complemento de los biocombustibles, en lugar de un sustituto de los combustibles fósiles (ONU, 2018, p. 24)

Figura 5. Fotografías centros de carga rápida CHAdemo CNFL S.A.



Fuente: https://www.cnfl.go.cr/images/arquetipos/electromovilidad_banner.jpg

Cabe mencionar que la Autonomía para Vehículos Eléctricos está definida bajo tres protocolos importantes:

1. **WLTP:** es el protocolo de homologación de consumos y emisiones en vigor, la cual obliga a realizar pruebas más cercanas a la conducción real para que sus resultados también se ajusten más a la realidad.
2. **EPA:** es la cifra de autonomía homologada según las pruebas que rigen en Estados Unidos.
3. **NEDC:** es la distancia oficial que puede recorrer un coche eléctrico, según las pruebas realizadas con base en el protocolo de homologación New European Driving Cycle. Este protocolo ya no se utiliza porque sus resultados mostraban muchos desajustes con respecto a la autonomía real, pero muchos coches eléctricos todavía lo muestran como referencia.

La autonomía del vehículo se calcula en función de la eficiencia y la capacidad de la batería, como se expresa en la siguiente ecuación 1:

Ecuación 1.

$$\text{Autonomía} = \text{CB} / \text{CE}$$

Donde:

CB = Capacidad de la batería (kWh).

CE = Consumo energético (kWh/100Km).

Figura 6. Fotografías centros de carga rápida CHAdemo CNFL S.A.



Fuente: https://www.cnfl.go.cr/images/arquetipos/electromovilidad_banner.jpg

Este análisis de sensibilidad financiera consistió básicamente en observar la respuesta del proyecto a un rango variado de escenarios y valores posibles para cada uno de los múltiples parámetros que forman parte del modelo económico del estudio. Esto permitió encontrar las variables críticas para el proyecto y sus puntos más vulnerables, a efectos de anticiparse y minimizar el impacto potencial sobre los resultados estimados.

Figura 7. Vehículo eléctrico Lexus UX 300e con sistema de batería



Fuente:

<https://www.noticiasdelmotor.com/automoviles/ux-300e-electrico-el-lexus-de-garantia-casi-vitalicia>

2.3 Normas técnicas: vehículos eléctricos en Costa Rica

Actualmente, el cambio climático es uno de los problemas más grandes a los que se enfrenta la sociedad y se encuentra en el momento crucial de tomar decisiones: desde cambios en los patrones meteorológicos que alteran la producción agrícola, hasta la normativa regulatoria, ya que el derretimiento de los polos acrecienta el riesgo de inundaciones catastróficas. Los efectos del calentamiento global tienen el alcance de repercutir a toda la humanidad durante décadas, por lo que, si no se toman decisiones inmediatas que remedien este efecto, el mundo como lo conocemos hoy cambiara para siempre. (Cifuentes, 2019)

Es por ello que Costa Rica ha creado una serie de normativas y leyes para incentivos y promoción del transporte eléctrico, como es el caso de la ley N.º 9518, la cual tiene por objeto crear el marco normativo para regular la promoción del

transporte eléctrico en el país y fortalecer las políticas públicas para incentivar su uso dentro del sector público y de la ciudadanía en general.

Adicional a ello, el Alcance N.º 161 de La Gaceta 128 del Decreto Ejecutivo N.º 41642-MINAE establece el *Reglamento para la construcción y el funcionamiento de la red de centros de recarga eléctrica para automóviles eléctricos por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica*. Es por lo que en la tabla 1 se desglosa en detalle la normativa técnica vigente a la fecha en Costa Rica para el desarrollo y el impulso del vehículo eléctrico.

Tabla 1. Normas Técnicas para vehículos Eléctricos en Costa Rica.

Ítem	Código	Nombre	Estado
1	INTE/IEC 61851-24:2017	Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 24: Comunicación digital entre una estación de carga en corriente directa para vehículos eléctricos y un vehículo eléctrico, para el control de la carga en corriente directa.	Vigente
2	INTE/IEC 60364-7-722:2015	Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 7-722: Requisitos para instalaciones o localizaciones especiales. Suministro del vehículo eléctrico.	Vigente
3	INTE/IEC 61851-1:2017	Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos-. Parte 1: Requisitos generales.	Vigente
4	INTE/IEC 61851-24:2017	Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 24: Comunicación digital entre una estación de carga en corriente directa para vehículos eléctricos.	Vigente
5	INTE/IEC 61851-23:2017	Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 23: Estación de carga en corriente continua para vehículos eléctricos.	Vigente
6	INTE/IEC 61851-22:2017	Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 22: Estación de carga en C.A. para vehículos eléctricos.	Vigente

Continuación tabla 1. Normas Técnicas para vehículos Eléctricos en Costa Rica.

Ítem	Código	Nombre	Estado
7	INTE/IEC 61851-21-1:2017	Sistema conductivo de carga para Vehículos Eléctricos. Parte 21-1: Requisitos de CEM (Compatibilidad Electromagnética) del cargador a bordo para vehículos eléctricos para la conexión conductora a la alimentación de a.c./d.c.	Vigente
8	INTE/IEC 62196-3:2017	Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 3: Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para acopladores de vehículo de espigas y alvéolos en d.c. y corriente a.c./d.c.	Vigente
9	INTE/IEC 62196-2:2017	Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 2: Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para los accesorios de espigas y alvéolos en a.c.	Vigente
10	INTE/IEC 62196-1:2017	Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales.	Vigente
11	INTE/IEC 62660-1:2018	Celdas secundarias de ión-litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera Parte 1: Ensayo de desempeño.	Vigente
12	INTE/IEC 62660-2:2018	Celdas secundarias de ión-litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera Parte 2: Ensayo de confiabilidad y de abuso.	Vigente
13	Ley N° 9518	Ley de incentivos y promoción para el transporte eléctrico.	Vigente
14	PNTE	Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030.	Vigente
15	Decreto ejecutivo N° 41642-MINAE	Reglamento para la construcción y el funcionamiento de la red de centros de recarga eléctrica para automóviles eléctricos por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.	Vigente

Fuente: elaboración propia e Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, 2020.

Cabe mencionar que, de acuerdo con el compromiso Descarbonicemos Costa Rica 2018-2050, el país se ha propuesto sentar las bases de la nueva economía costarricense del siglo XXI, creando así una visión positiva, innovadora e inspiradora del futuro para el Estado.

Al mismo tiempo, el Plan Nacional de Transporte Eléctrico (PNTE) posee como objetivo primordial iniciar la transición hacia una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética nacional, mediante la electrificación del transporte en todos sus escenarios, con la meta de buscar una mejorar la calidad del aire en zonas urbanas. Este aspecto se verá reflejado directamente en la salud humana e impactará la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de manera que se contribuirá, así, con las políticas de descarbonización del país. Para este propósito es necesario integrar los esfuerzos de diferentes actores en el sector público, privado y en la sociedad civil.

Además, es necesario resaltar que el desarrollo del transporte eléctrico responde a las políticas energéticas contenidas en el VII Plan Nacional de Energía (PNE), al compromiso país de avanzar hacia la descarbonización de la economía establecido en el Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y a la Contribución Nacionalmente determinada de Costa Rica (NDC, por sus siglas en inglés). (MINAE, 2019)

Otro elemento favorable en el contexto costarricense es el impulso al transporte eléctrico desde la sociedad civil. Esta agenda ha sido apoyada por una red activa compuesta por grupos ciudadanos locales, usuarios, expertos y legisladores desde el año 2015.

2.4 Autonomía vehículos eléctricos

La movilidad eléctrica urbana es uno de los grandes retos mundiales, ya que se sitúa como uno de uno de los desafíos principales que deben afrontar las

ciudades actuales, las cuales deben encaminarse a crear un entorno apropiado que garantice una alta calidad de vida a la ciudadanía y fomente el desarrollo económico de las urbes.

Al mismo tiempo, mejorar la problemática de los vehículos eléctricos tales como la autonomía es una de las tareas principales de los fabricantes de automóviles en el plano mundial, para que se pueda alcanzar una autonomía de varios cientos de kilómetros en una sola carga.

Por ejemplo, según Serrano (2018) en España esto es complicado ya que, de acuerdo con Electromaps-España, hay un total de 2.511 puntos de recarga en dicho país, de los cuales solo 519 son de carga rápida y públicos.

Asimismo, es necesario que un vehículo eléctrico posea una autonomía superior a los 250 kilómetros, ya que, si es menor, se podríamos concluir que es solamente publicidad o *marketing*. (Serrano, 2018)

Además, las continuas mejoras en las prestaciones y tecnologías de vehículos eléctricos y principalmente en las baterías están logrando reducción de costos, así como mayores autonomías de recorrido y cargas más rápidas, lo cual tiene que ser una realidad, ya que, sumado a los beneficios ambientales asociados al cambio de flota vehicular, vuelven aún más atractiva la electrificación del transporte público en Costa Rica. (Secretaría de Planificación Subsector Energía (MINAE), 2020)

De acuerdo con la Ley 9518 de incentivos y promoción para el transporte eléctrico en Costa Rica, se establece en su artículo 21 una oferta de vehículos eléctricos, a través del sitio web.energia.go.cr del MINAE. Se trata de una lista de los modelos ofrecidos en el país por los importadores de vehículos eléctricos, mediante los inventarios internacionales de las marcas representadas. en sus, Además, se deberá verificar que estos se ajusten a los estándares internacionales pertinentes para su óptimo funcionamiento, lo cual se muestra en la figura 5.

Figura 8. Oferta de vehículos eléctricos, agosto 2020

Marca	Modelo	Estilo	Batería (kWh)	Potencia (kW)	Autonomía	Torque (NM)	Pasajeros
Audi	E-Tron	SUV	82	225	402 (EPA)	460	5
BMW	i3s	Hatchback	42.2	125	245 (EPA)	249.5	4
ByD	e1	Sedán	32.2	45	305 (NEDC)	110	5
ByD	e5	Sedán	51.2	100	405 (NEDC)	180	5
ByD	Song Pro EV	SUV	71	137	502 (NEDC)	280	5
ByD	T3	VAN	48	160	250 (NEDC)	310	2 o 5
ByD	Tang	SUV	82.8	183	520 (NEDC)	330	5
ByD	Yuan EV535	SUV	53.22	122	410 (NEDC)	280	5
ByD	Yuan EV360	SUV	40.62	71	305 (NEDC)	180	5
Great Wall	ORA R1	Sedán	33	35	310 (WLTP)	125	4
Hyundai	Ioniq	Sedán	38.3	100	293 (WLTP)	295	5
Hyundai	Kona	SUV	64	150	391 (EPA)	395	5
JAC	iEV7S	SUV	42.8	93	320 (NEDC)	270	5
Jaguar	I-Peace	SUV	90	294	480 (WLTP)	696	5
MG	ZS EV	SUV	44.5	105	262 (WLTP)	353	5
Maxus	EV 30	VAN	35	71	230 (NEDC)	220	2
Nissan	Leaf	Hatchback	40	110	285 (WLTP)	320	5
Nissan	Leaf e+	Hatchback	62	160	385 (WLTP)	339	5
Renault	Kangoo	VAN	33	44	270 (NEDC)	225	5
Renault	Zoe	Hatchback	52	80	390 (WLTP)	225	5
Xpeng	G3 Long Range	SUV	66.5	139	520 (NEDC)	300	5
Yudo	Pi 1	SUV	49.8	90	426 (NEDC)	300	5

Fuente: (Ministerio Ambiente y Energía – Costa Rica, 2020).

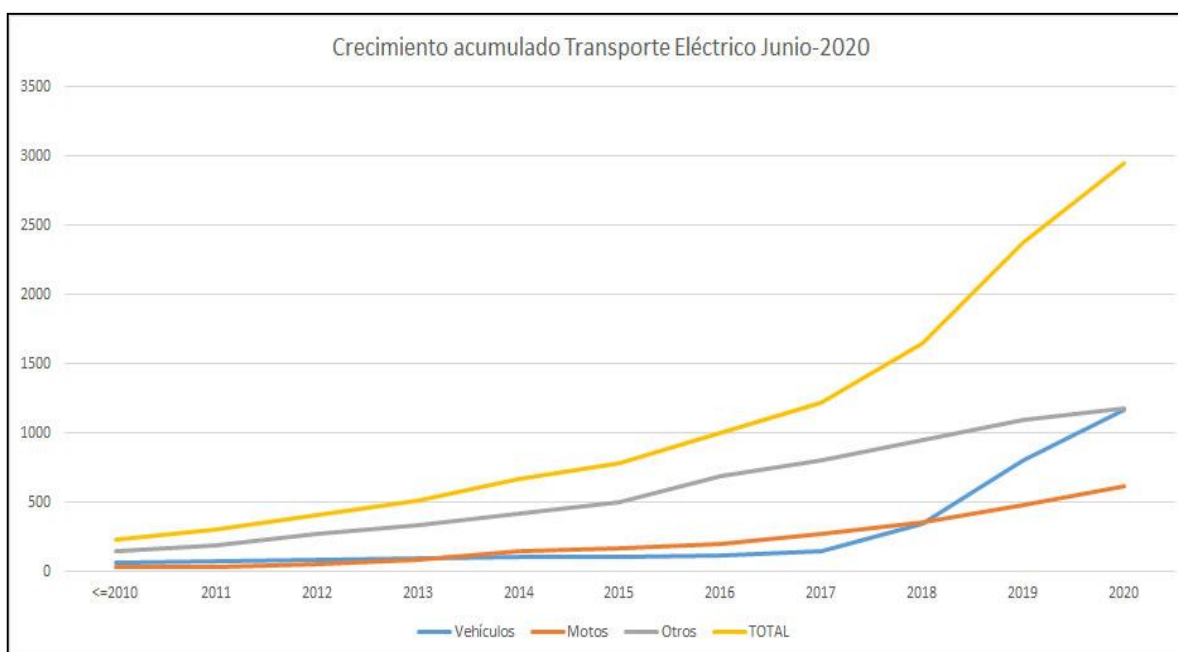
Simultáneamente, cabe mencionar que Costa Rica ha tenido un crecimiento exponencial acumulado en el transporte eléctrico desde el año 2010, como se aprecia en las figuras 6 y 7, que corresponden a la lista actualizada del crecimiento de la flota costarricense de vehículos eléctricos a junio de 2020.

Figura 9 Acumulado de vehículos eléctricos en Costa Rica, junio 2020

TIPO	Vehículos	Motos	Otros	TOTAL
<=2010	60	31	142	233
2011	74	37	191	302
2012	85	54	268	407
2013	91	88	337	516
2014	104	143	416	663
2015	108	169	505	782
2016	120	194	689	1003
2017	147	276	801	1224
2018	340	354	954	1648
2019	801	478	1100	2379
2020	1191	621	1188	3000

Fuente: (Ministerio Ambiente y Energía – Costa Rica, 2020).

- *Vehículo: automóvil de uso diario con placa.*
- *Motos: incluye motos y bicimotos con placa.*
- *Otros: incluye carros de golf, cuatriciclos, montacargas, carros de trabajo, todos con placa.*

Figura 10 Gráfico correspondiente crecimiento transporte eléctrico

Fuente: (Ministerio Ambiente y Energía – Costa Rica, 2020).

2.5 Requerimientos recarga vehículos eléctricos (VE)

Los procesos de recarga de las baterías de los vehículos eléctricos, así como los procesos de descarga en el vehículo para la producción de energía eléctrica consumida en el motor deben cumplir con la Norma INTE/IEC 61851-1:2019, además, la alimentación eléctrica debe estar sustentada de acuerdo con la legislación vigente nacional. En este caso, para Costa Rica se deben consultar los siguientes reglamentos:

- RTCR-458-2011
- AR-NT-SUCOM
- AR-NT-SUCAL

Los parámetros claves para la alimentación de los centros de recarga deben estar acorde a los modos de cargas que se establecen en la siguiente tabla 2, la norma INTE N121:2020. (INTECO, 2020)

Tabla 2. Parámetros de alimentación máxima en A.C. de centros de recarga.

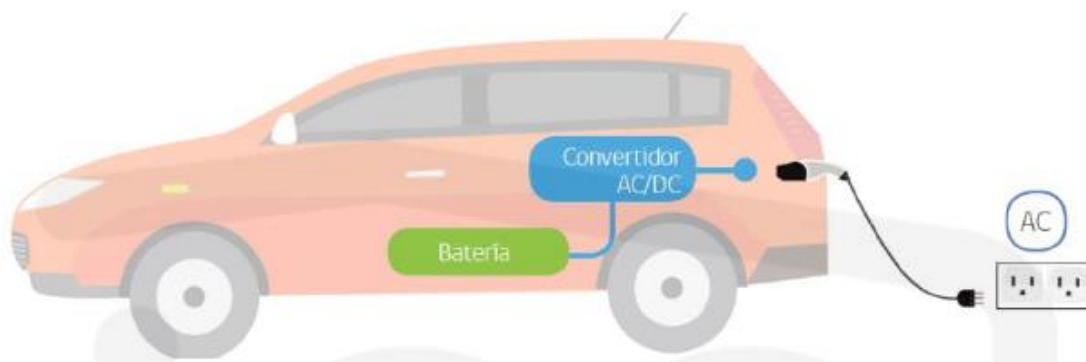
Modo de recarga	Voltaje 1 fase (V)	Voltaje 3 fases(V)	corriente (A)	Potencia (KW)
1	250	480	16	4/13,3
2	250	480	32	8/26,6
3	250	480	80 (para monofásico)	19,2 (para monofásico)
4	-	480	-	-
Nota 1. En modo 3 (trifásico) y en Modo 4 no se ha definido límite de corriente y de potencia. Nota 2. El voltaje monofásico en modo 4 no aplica.				

Fuente: Norma INTE N121:2020.

Ahora bien, existen cuatro tipos de carga para los vehículos eléctricos, los cuales se describen a continuación de acuerdo con la norma INTE N121:2020. (INTECO, 2020)

- **Tipo I**

Este método de recarga de un vehículo eléctrico cuenta con la conexión a un tomacorriente que opera de una red eléctrica de suministro con corriente alterna (por sus siglas en inglés A.C.), utilizando un cable y un enchufe, los cuales no cuentan con ningún conductor complementario o uniones auxiliares, como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Tipo I de recarga vehículos eléctricos

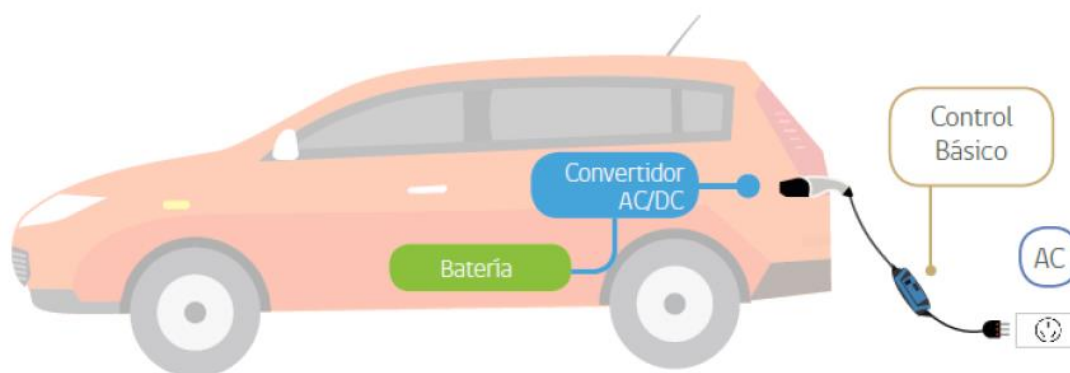
Fuente: Norma INTE N121:2020.

- **Tipo II**

Este método de recarga es para un vehículo eléctrico que cuenta con la conexión a un tomacorriente estándar que opera mediante una red eléctrica de suministro de corriente alterna (por sus siglas en inglés A.C.), utilizando un cable y un enchufe, con una función piloto de control y el sistema de protección personal contra choque eléctrico colocado entre el enchufe estándar el vehículo eléctrico, como se muestra en la figura 12.

Cabe indicar que los valores nominales de corriente y tensión para este tipo de conexión no deben exceder los 32 amperios y 240 Voltios $\pm 10\%$; asimismo, deben proporcionar un conductor de puesta a tierra de protección desde el enchufe estándar hacia el conector del vehículo eléctrico.

Figura 12. Tipo II de recarga vehículos eléctrico

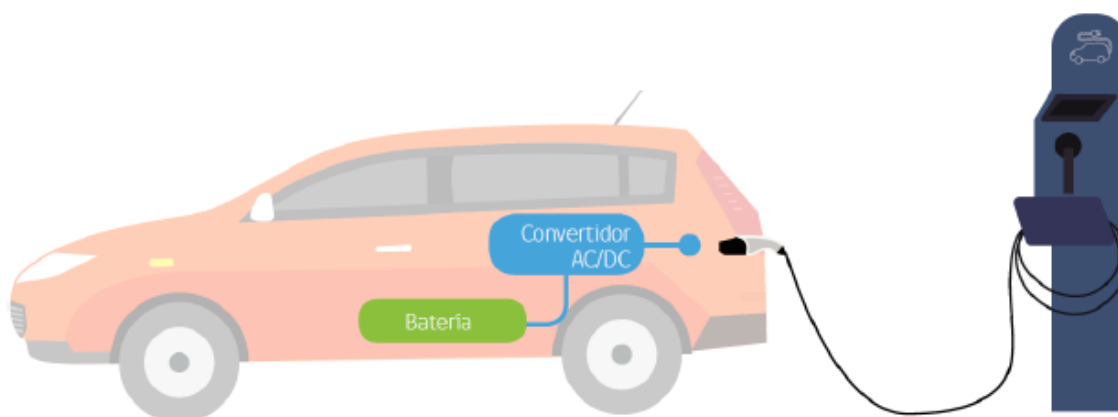


Fuente: Norma INTE N121:2020.

- **Tipo III**

Este método de recarga es para un vehículo eléctrico que cuenta con la conexión a un equipo de suministro permanente conectado a una red eléctrica de suministro de corriente alterna (por sus siglas en inglés A.C.), proporcionando un conductor de puesta a tierra de protección personal contra choque eléctrico colocado entre el tomacorriente del vehículo eléctrico y el conector del vehículo, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Tipo III de recarga vehículo eléctrico



Fuente: Norma INTE N121:2020.

- **Tipo IV**

Este cuarto método de recarga es para un vehículo eléctrico que cuenta con la conexión a una red eléctrica de suministro de corriente alterna (por sus siglas en inglés A.C.) o también para corriente continua (por sus siglas en inglés D.C.); maneja un equipo de suministro del vehículo eléctrico en D.C. con una función del piloto de control que se extiende desde el equipo de suministro para el VE en D.C. hasta el VE. Asimismo, debe proporcionar un conductor de puesta a tierra de protección personal contra choque eléctrico, como se muestra en la figura 14.

Cabe indicar que los requisitos adicionales para el equipo de suministro del vehículo eléctrico para corriente continuán en D.C. y están especificados en la norma INTE/IEC 61851-23, los cuales pueden ser de apoyo y complemento para el tipo de recarga de V.E.

Figura 14. Tipo IV de recarga vehículo eléctrico

Fuente: Norma INTE N121:2020.

2.5.1 Accesorios y conectores de recarga de VE

En cuanto a los accesorios y conectores, es importante señalar que deben estar etiquetados con la corriente asignada en amperios para la alimentación. Igualmente, la tensión de funcionamiento asignada en voltios, además de la debida simbología para el grado de protección como se muestra en la tabla 3. Adicional a ello, debe indicarse el nombre o la marca registrada del fabricante o vendedor responsable (INTECO, 2020).

Tabla 3. Etiquetado y simbología de estaciones de recarga.

Simbología	Nombre
A	Amperios
V	Voltios
HZ	Hercios(Hertz)
	Tierra de Protección
	Corriente Alterna (A.C)
	Corriente Directa (D.C)

Fuente: elaboración propia, 2020.

Adicional a ello, los accesorios deben cumplir con las normas INTE/IEC 62196, según sea el caso que corresponda. Luego, para el tema de los conectores el centro de recarga del vehículo eléctrico, debe poseer, al menos, los siguientes tipos de conectores:

- Los centros de recarga de uso público para el tipo dos y tres son:
 - a) - SAE J1772
- Los centros de recarga de uso público para el tipo cuatro deben tener al menos dos de los siguientes:
 - a) CCS (Combined Charging System), combo 1
 - b) CHAdeMo
 - c) GB/T

Para una mejor comprensión del tema se presenta la tabla 4, la cual describe los conectores mínimos para los centros de recarga. Al mismo tiempo es necesario indicar que la carga rápida para un vehículo eléctrico hace que sean más útiles, debido a la tranquilidad que los conductores obtienen al saber que pueden recargarse apresuradamente y la velocidad de viaje efectiva es más expedita.

Esto permitiría que los propietarios de automóviles con capacidad de carga rápida se sienten capaces de realizar viajes y recorridos más lejanos.

Ahora bien, la elección y carga de un vehículo eléctrico dependerá siempre del fabricante, el cual le beneficiaría en una amplia gama de situaciones al propietario; es por lo que en la tabla 4 se ilustran los tipos de cargador por fabricantes de vehículos eléctricos.

Tabla 4. Conectores mínimos en centros de recarga.

Conector	Tipo de carga	Corriente de carga	Representación Ilustrativa	
SAE J1772	1,2 y3	A.C		
CCS Combo 1 (Combined Charging System)	4	D.C		
CHAdeMO	4	D.C		
GB/T	4	D.C		

Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 15. Conectores por fabricantes de vehículos eléctricos

	 U.S.A.	 JAPAN	 EU	 CHINA	Varios
Conectores A.C	AC  J1772 (Type 1)	 J1772 (Type 1)	 Mennekes (Type 2)	 GB/T	 Tesla
Conectores D.C	DC  CCS1	 CHAdeMO	 CCS2	 GB/T	

Fuente: elaboración propia, 2020.

Cabe indicar que, como complemento, existen los requisitos adicionales para el equipo de suministro del vehículo eléctrico para corriente continúa en D.C., los cuales están disponibles y especificados en la norma INTE/IEC 61851-23.

Sin embargo, el objetivo principal de todos los fabricantes de automóviles eléctricos es trabajar juntos en los estándares y protocolos de carga. Asimismo, para los fabricantes de automóviles estadounidenses y europeos estos trabajarán juntos a través del comité SAE, al desarrollar diferentes enchufes de carga, ya que el protocolo de carga es el mismo entre los automóviles eléctricos europeos y estadounidenses. (Herron, 2016).

Conviene rescatar que las necesidades básicas de los usuarios y propietarios de los vehículos eléctricos son:

Carga optimizada. Esto encierra que la carga optimizada de energía y eliminación debería mejorar la duración de la batería mediante una carga inteligente.

Confiabilidad (es decir, enchufar y cargar, no enchufar y restar) para beneficio del cliente en maximizar la disponibilidad del vehículo.

Pago y facturación automáticos. Esto correspondería involucrar un sistema orientado a la funcionalidad conocida del teléfono móvil con un simple contrato de un proveedor de electricidad, el cual emita la facturación automática y, de ser posible, el *roaming* para la itinerancia de datos cuando haya conexiones a Internet mediante una red diferente a la que se tiene contratada con el teléfono móvil.

Servicios de valor añadido. Esto debería incluir pagos seguros y privados a través de seguridad de clave pública/privada o, incluso, acceso móvil a parámetros importantes del vehículo, como estado de rango de carga o perfil de carga, entre otros.

Infraestructura de alta densidad. Para la confianza del consumidor, este aspecto es clave, dado que una red más completa de puntos de recarga que le permita cargar más rápidamente las baterías de los vehículos no solo podría aumentar la confianza del consumidor, sino también reducir los requisitos de “baterías muy grandes” en los vehículos eléctricos.

Alta potencia. Permitir una carga rápida en situaciones críticas es la aceptación de un consumidor para mayor confiabilidad y autonomía.

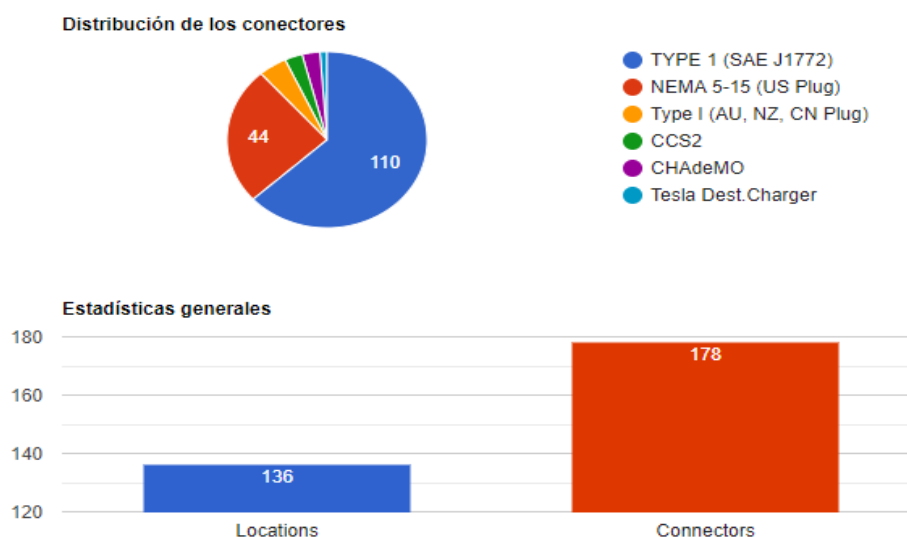
2.6 Ubicación de estaciones recarga VE

Con respecto a las estaciones de recarga de vehículos eléctricos y al considerar las distancias mínimas para su instalación, en el caso de carreteras nacionales es de 120 km y de 80 km en los caminos cantonales, de acuerdo con lo indicado en el Plan Nacional de Transporte Eléctrico de las estaciones de recarga semirápidas y rápidas que, en su mayoría, pertenecen a las diferentes empresas

eléctricas o bien están en convenio con desarrolladores inmobiliarios o agencias distribuidoras de vehículos. (MINAE, 2019, p. 59)

Adicional a ello, en Costa Rica actualmente existe la aplicación *APP electromaps*, la cual permite ver los puntos de recarga ubicados en todo el país. Según su estadística, al 12 de octubre de 2020 existen 178 conectores y 136 localizaciones, como se observa el gráfico 1.

Gráfico 1. Puntos de recarga y distribución de conectores.



Fuente: <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/costa-rica>

Es importante resaltar que de ellos predominan el tipo de conector SAE J1772 con 110 unidades de tecnología japonesa y norteamericana, seguido del conector tipo NEMA 5-15 (US Plug) con 44 unidades, 8 unidades el conector tipo Type I (AU, NZ, CN Plug) y 5 unidades del tipo CCS (Sistema de Carga Combinado). De igual manera, cuenta con 5 unidades el tipo CHAdEMo y finalmente 2 unidades para los vehículos Tesla Dest; estos están basados en diferentes estándares que describen los componentes necesarios para cargar, de manera segura y fiable, un vehículo de motor eléctrico (Electromaps Costa Rica, 2020).

2.7 Proyectos de vehículos eléctricos en Costa Rica

En relación con este tema, se debe indicar que, para apoyar la movilidad eléctrica en Costa Rica, el gobierno en su transición hacia la electrificación del transporte público, a mediados de 2017 y a través de un convenio con el gobierno de Alemania (específicamente el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, BMU) anunció la donación de tres autobuses eléctricos para realizar una prueba piloto en el país y encargó a la cooperación alemana conocida (por sus siglas, GIZ) para su desarrollo y es la encargada de la implementación del proyecto.

Existen, también, las exoneraciones a vehículos eléctricos nuevos, conforme al Decreto Ejecutivo N.º 41092-MINAE-H-MOPT y el Reglamento de incentivos para el transporte eléctrico, emitido en diciembre 2018 y sus reformas.

Cabe mencionar que la Ley 9518 establece que se beneficiará los vehículos eléctricos de la exoneración del impuesto general sobre las ventas, del impuesto selectivo de consumo y del impuesto sobre el valor aduanero, según lo indicado en la tabla 5.

Tabla 5. Beneficio de exoneraciones de VE por cinco años.

Monto exonerado del valor CIF del VE	Exoneración del impuesto general sobre las ventas	Exoneración del impuesto selectivo de consumo	Exoneración del Impuesto sobre el valor aduanero
Primeros \$30.000 del valor CIF del VE	100 % exonerado	100 % exonerado	100 % exonerado
De \$30.001 hasta \$45.000 del valor CIF del VE	50 % exonerado	75 % exonerado	100 % exonerado
De \$45.001 hasta \$60.000 del valor CIF del VE	0 % exonerado	50 % exonerado	100 % exonerado
De \$60.001 en adelante	0 % exonerado	0 % exonerado	0 % exonerado

Fuente: elaboración propia, a partir de la Ley 9518.

Nota:

- El valor CIF es el valor real de las mercancías durante el despacho aduanero, el cual abarca tres conceptos: costo de las mercancías en el país de origen, costo del seguro y costo del flete hasta el puerto de destino, cabe indicar que el término comercial CIF se utiliza exclusivamente para el transporte marítimo y fluvial.
- El artículo #2 de la Ley 9518 indica que se beneficiarán de la exoneración del impuesto general sobre las ventas, el impuesto selectivo de consumo y el impuesto sobre el valor aduanero, según lo indicado en la tabla adjunta.

No obstante, también se ha conformado el Comité para la Electrificación del Transporte Público (conocido por sus siglas, CETP), el cual reúne a diferentes actores involucrados en el planeamiento y la ejecución del proyecto piloto para definir la ruta que se seguirá. (MINAE, 2020)

Al mismo tiempo, recientemente se ha sumado el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como apoyo bilateral, a través del *Proyecto mi transporte*, el cual busca generar las condiciones marco y un modelo de

operación replicable para la electrificación del transporte de autobuses públicos en Costa Rica.

Este proceso permitirá probar la tecnología, sensibilizar y encadenar a los distintos actores involucrados y recopilar información útil para la implementación a gran escala. Esta información podría ser utilizada por diferentes instituciones como, por ejemplo, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) para el diseño de políticas públicas, como también el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) para realizar adecuaciones técnicas.

Empero también es clave para que los operadores de rutas de transporte público y el sector financiero comprueben la viabilidad de la tecnología al ponerla a prueba en rutas regulares de transporte público. (Secretaría Planificación Subsector Energía, MINAE), 2020)

En resumen, la sociedad civil costarricense, mediante la conformación de diversos grupos o asociaciones, ha impulsado el tema del transporte eléctrico; donde las iniciativas en pro

de la investigación y formación ciudadana han estado enfocadas en el desarrollo de algunos espectáculos ciudadanos, en la atención de charlas informativas, en la creación de un sitio web sobre el tema (como lo es www.movilidadelectrica.org), así como también un mapa para usuarios donde se pueden ver las diferentes estaciones de recarga de vehículos eléctricos (www.conectaev.com), así como videos e infografías educativas como basto de apoyo.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados se tomaron varios aspectos pertinentes y esenciales basados en la investigación de operacionalización de variables, los cuales se describen a continuación:

3.1 Diagnóstico de la flotilla vehicular de la Municipalidad de Alajuela

Como parte de la dimensión de factibilidad técnica del proyecto se realizó un análisis por medio de visitas de campo, entrevistas y encuestas a varios colaboradores de la Municipalidad; entre ellos, al *Proceso de transporte y taller* para obtener información oportuna del estado actual de la flotilla vehicular como, por ejemplo, qué tipos de modelos de vehículos tiene la institución o cuáles tipos de combustibles son los que más se utilizan, entre otros. Lo anterior de previo al estado actual de los vehículos, de lo cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Cantidad de flotilla vehicular automóviles Municipalidad de Alajuela.

Tipo de Vehículo	Cantidad	Porcentaje (%)	Tipo Combustible	
			Gasolina	Diesel
Sedan	6	8%	4	2
Carga Liviana	15	21%	1	14
Pick Up	30	41%	1	29
Camiones	10	14%	0	10
Vagonetas	12	16%	0	12
Total	73	100%	6	67

Fuente: elaboración propia, a partir de datos Municipalidad de Alajuela.

Según la tabla mostrada y el análisis desarrollado, se obtuvo un total de 73 vehículos, los cuales están divididos en cinco tipos, conforme a lo mostrado:

A. Vehículos tipo sedán

Se obtuvo un 8%, que corresponde a seis vehículos de este tipo, los cuales se caracterizan por tener una carrocería típica de un automóvil de turismo o ejecutivo y que, por norma general, tienen cuatro puertas y seis ventanas.

B. Vehículos tipo carga liviana

Para este tipo de vehículo se obtuvo un 21%, que representa 15 vehículos del total, los cuales se caracterizan porque son diseñados para el transporte de mercadería liviana y pesada. Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de cuatro toneladas o menores a ellas.

C. Vehículos tipo pick up

Para este tipo de vehículo se obtuvo un 41%, que representan 30 vehículos del total. Cabe mencionar que estos se caracterizan por tener un aspecto de todoterreno, con carrocería bastante elevada sobre el suelo, tracción trasera o normalmente en las cuatro ruedas; sobre todo para aumentar la capacidad de remolque y como gran elemento identificador, una caja trasera descubierta para transportar objetos.

D. Vehículos tipo camiones

Este tipo de vehículo se encargan del transporte terrestre de mercancía y están relacionadas con los servicios administrativos y el acueducto municipal, generalmente. En este caso, se obtuvo un 14%, que corresponde a 10 vehículos del total de la flota de vehículos municipales.

E. Vehículos tipo vagonetas

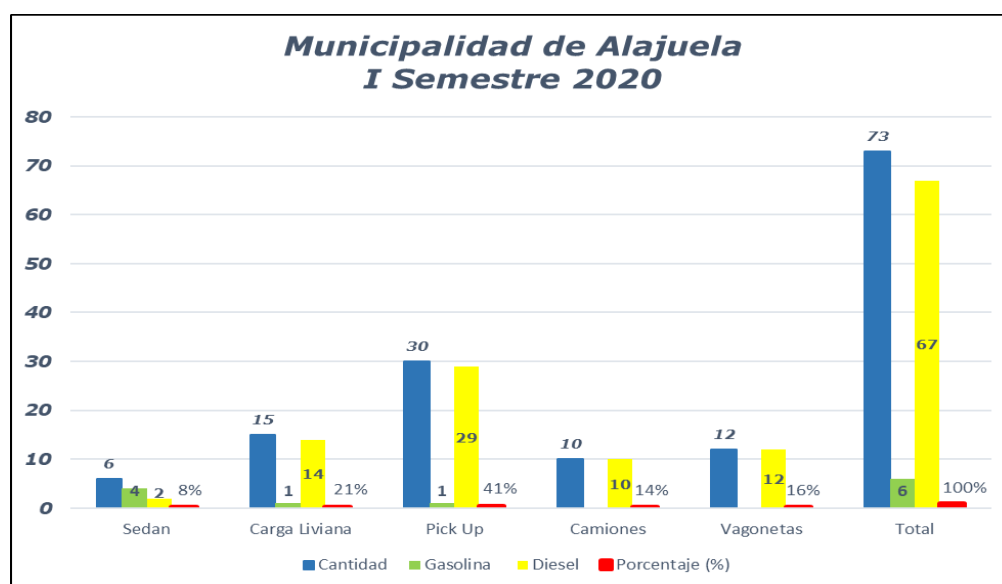
Finalmente se obtuvo un 16 %, que corresponde a 12 vehículos del total,

los cuales sirven para el transporte de mercancías; principalmente piedra, arena o materiales de construcción en obras municipales, como es el caso de los departamentos de gestión vial, obras, acueducto y pluvial.

Además de los datos analizados, cabe mencionar que se desarrolló una comparación de todos los vehículos de la Municipalidad para el último semestre del año 2020, conforme a sus características, modelos y tipos de combustibles, de lo que se obtuvieron los resultados que se aprecian en el gráfico 2. En él se indica que un 8,2 % representa seis vehículos del total que operan con combustible de gasolina y un 91,8%, que representa 67 vehículos del total que operan con combustible de diésel.

Adicionalmente se muestra que la mayor cantidad de vehículos que tiene la Municipalidad son de tipo *pick up*, lo que representa un 41%, que corresponde a 30 vehículos del total. Este tipo de vehículo es el de mayor cantidad en la institución, como también el de mayor consumo de combustible respecto de aquellos que operan con combustible de tipo diésel, para un total de 91,78%.

Gráfico 2. Comparación de vehículos por tipo de combustible



Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

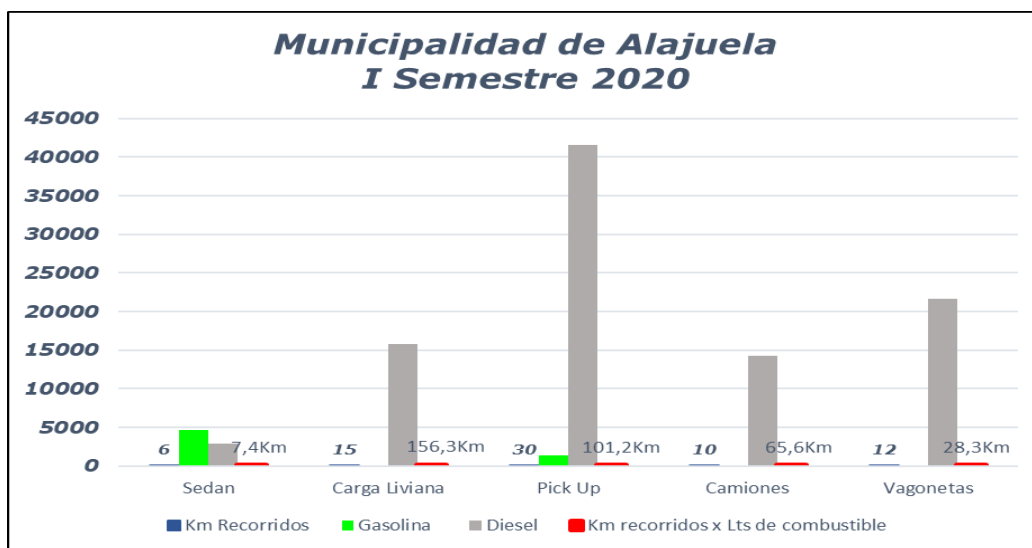
Dentro del análisis desarrollado, se determinó la relación de consumo diésel y gasolina conforme a los recorridos en kilómetros de toda la flotilla vehicular para el periodo que comprende desde el 01/03/2019 hasta el 31/12/2019. Los resultados se muestran en la tabla 7 y se observan los kilómetros recorridos, el tipo de combustible, el consumo en litros, el porcentaje de uso y la eficiencia de distancia por uso de combustible para toda la flota vehicular.

Tabla 7. Descripción comparativa por cantidad kilómetros recorridos.

Tipo de vehículo	Cantidad	Km recorridos	Tipo combustible		Litros consumidos generalmente	Km recorridos x litros de combustible	% Eficiencia
			Gasolina	Diesel			
Sedan	6	55025	4640	2832	7472	7,4Km	2,1%
Carga Liviana	15	2482384	64	15815	15879	156,3Km	43,6%
Pick Up	30	4346433	1351	41581	42932	101,2Km	28,2%
Camiones	10	933037	0	14222	14222	65,6Km	18,3%
Vagonetas	12	612352	0	21673	21673	28,3Km	7,9%
Total	73	8429231	6056	96122	102178	358,80Km	100%

Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

Estos mismos resultados se observan por cada tipo de vehículo en el gráfico 3, donde se aprecia que los vehículos que más recorren kilometrajes son los de carga liviana, con 156,3 km, y los que más consumen diésel, con 41.581 litros, son los tipos *pick up*.

Gráfico 3. Comparación de vehículos kilómetros recorridos

Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

En relación con los factores de emisión de gases de efecto invernadero, se consideran los parámetros avalados por el Instituto Meteorológico Nacional para ser utilizados en los inventarios de gases de efecto invernadero. También se consideraron para los vehículos tipo sedán, los cuales son la muestra representativa para el estudio y proyecto y se revelan en la tabla 8.

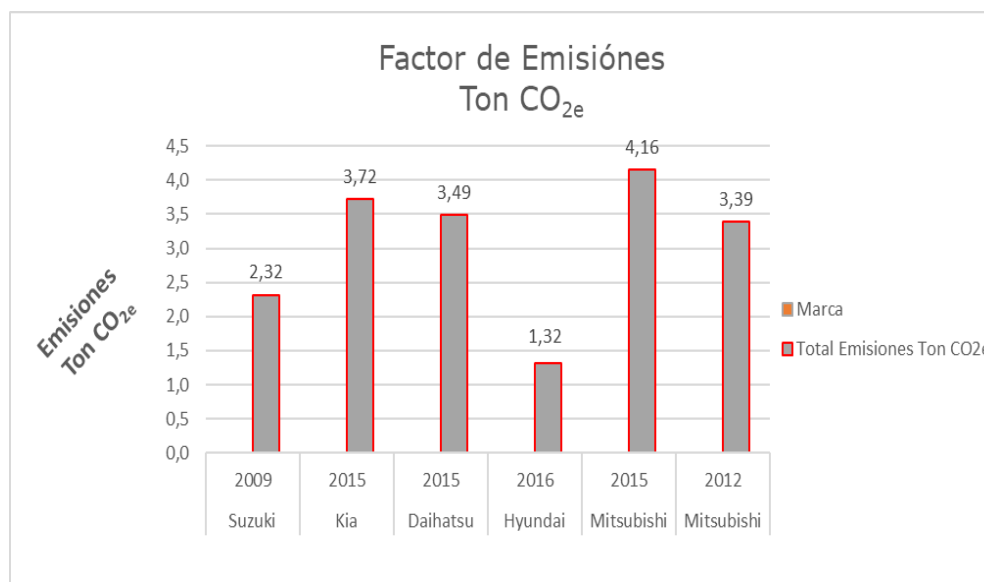
El vehículo marca Mitsubishi, modelo 2015, es el que más emite gases, con 4,16 Ton CO_{2e} de toneladas de dióxido de carbono equivalente. Esta información se recopiló de la base de datos municipal de control de cada uno de los vehículos de la institución. Le sigue el vehículo marca Daihatsu, que emite 3,49 Ton CO_{2e}, lo que genera finalmente un total de 18,39 Ton CO_{2e} de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas.

Tabla 8. Descripción comparativa por cantidad de emisiones de Ton CO_{2e}.

Tipo de combustible	Factor de emisión CO ₂ (kgCO ₂ /Litro)	Factor de emisión CH ₄ (g/litro)	Factor de emisión N ₂ O (g/litro)	Factor de emisiones CO ₂ vehículos				
Gasolina	2,231	0,907	0,283	Consumo combustible litros	Dióxido de Carbono	Metano	Óxido Nitroso	Total, emisiones Ton CO _{2e}
Diesel	2,613	0,149	0,154		KgCO ₂ /litro	KgCH ₄ /litro	KgN ₂ O /litro	
Marca	Año	Km recorridos	Tipo combustible					
Suzuki	2009	7 529,00	GASOLINA	992,20	2 213,60	18,90	87,05	2,32
Kia	2015	10 954,00	GASOLINA	1 589,70	3 546,62	30,28	139,46	3,72
Daihatsu	2015	13 054,00	GASOLINA	1 493,71	3 332,47	30,28	131,04	3,49
Hyundai	2016	4 483,00	GASOLINA	564,80	1 260,07	10,76	49,55	1,32
Mitsubishi	2015	11 355,00	DIESEL	1 560,67	4 078,03	4,88	74,51	4,16
Mitsubishi	2012	7 650,00	DIESEL	1 271,14	3 321,49	3,98	60,68	3,39
Nota: Total de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas.								18,39

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

Como complemento a los indicadores de la Municipalidad de Alajuela respecto del factor de emisiones de CO₂ que emite cada vehículo en toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidos, en el gráfico 4 se muestra el detalle de las emisiones por marca de vehículo del tipo sedán para el periodo 2019.

Gráfico 4. Emisiones de gases efecto invernadero Ton CO_{2e} por vehículo

Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

Dicho de otra manera, a partir de las condiciones técnicas señaladas en el Plan Nacional de Energía, es necesario seguir promoviendo sistemas eficientes de transporte colectivo, los cuales sean ambientalmente más limpios y mitiguen los efectos del calentamiento global al causar el uso de combustibles alternativos para el sistema de transporte, disminuir la dependencia de los hidrocarburos, la emisión de gases contaminantes y mejorar las normas para la importación de vehículos nuevos y usados para estimular el rendimiento energético y la reducción de la contaminación.

Así, la economía nacional tendrá un nivel de emisiones de gases de efecto invernadero significativamente menor al actual.

CAPÍTULO IV PROPUESTA

4.1 Análisis de resultados financieros costo-beneficio

El análisis financiero se elaboró de acuerdo con una serie de recomendaciones emitidas que se deben tener presentes en la evaluación financiera de proyectos. Dichas observaciones y recomendaciones contemplan la comparación de alternativas relacionadas con la modalidad de comparación de vehículos eléctricos con respecto a los vehículos de combustión. Además, se toman como referencias las premisas económicas 2020-2030 (véase tabla 9), las cuales regulan los proyectos viables para la Gerencia Corporativa de Administración y Finanzas del Grupo ICE y sus subsidiarias.

Por su parte, este análisis constituye la estrategia para la administración de los recursos en la Municipalidad de Alajuela, en la implementación de tecnología verde de los vehículos eléctricos para el futuro de la institución contemplando los costos operativos y también los costos indirectos de la inversión inicial.

Mediante un escenario alternativo, se compara la posibilidad de que la Municipalidad de Alajuela pueda obtener, mediante un esquema de aportes propios la compensación de costos del proyecto. Por ejemplo, ahorro por pago de combustible, cambios de aceite anualmente de los vehículos, recorrido de kilómetros por vehículo, recuperación de pago por consumo de recarga de kilowatts por hora (kWh) para que se realice un horizonte del proyecto para un periodo de 10 años.

Asimismo, se realizó una lista de variables de costos de un vehículo de combustión y de un vehículo eléctrico para la inversión del proyecto en dólares, la cual se visualiza en las tablas 10 y 11.

Cabe mencionar que, para el vehículo de combustión, se consideraron las siguientes variables:

- Costo anual del consumo combustible.
- Litros de consumo anual de gasolina.
- Mantenimiento de agencia.
- Costo de zonas de parqueo.
- Impuesto del derecho de circulación.

Luego, para el vehículo eléctrico, se consideraron las siguientes variables:

- Costo consumo recarga kWh.
- Consumo anual kWh.
- Mantenimiento de agencia.
- Impuesto de circulación de un vehículo eléctrico.
- Zonas de parqueo después del periodo de exoneraciones a vehículos eléctricos, de acuerdo con el Decreto Ejecutivo N.º 41092-MINAE-H-MOPT.

Tabla 9. Premisas económicas 2020-2030.

Premisas de tipo de cambio e inflación 2020												
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Promedio
Tipo de cambio de venta promedio	631,25	645,94	660,96	676,34	692,08	708,18	724,66	741,51	758,77	776,42	793,81	709,99
Inflación promedio del año	3,50%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,05%
Inflación USA promedio del año	1,90%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	1,99%
Devaluación esperada (colón/dólar)	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%

Fuente: Nota 0150-1417-2017. Actualización Premisas Económicas 2020-2030, Gerencia Corporativa de Administración y Finanzas.

Tabla 10. Variables costos de la inversión vehículos combustión.

Variables vehículo de combustión	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Totales
Costo anual consumo combustible	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$1 510	\$16 611
Litros consumo anual gasolina	1493,71	1494,05	1494,23	1494,16	1494,16	1494,16	1494,19	1494,21	1494,22	1494,24	1494,25	16435,58
Mantenimiento agencia	\$1 100	\$1 210	\$1 265	\$1 320	\$1 375	\$1 375	\$1 210	\$1 265	\$1 320	\$1 375	\$1 375	14190,0
Zona parqueo	\$95	\$96	\$91	\$89	\$87	\$85	\$81	\$79	\$76	\$73	\$71	\$923
Impuesto derecho circulación	\$603	\$624	\$621	\$621	\$621	\$621	\$621	\$621	\$621	\$621	\$621	\$6 815
												\$38 539

Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

Tabla 11. Variables costos de la inversión vehículo eléctrico.

Variables vehículo eléctrico	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Totales
Costo consumo recarga kWh	\$121	\$182	\$153	\$149	\$146	\$143	\$139	\$136	\$133	\$130	\$127	\$1 560
Consumo anual kWh	15997,9	16003,5	16008,3	16013,1	16017,9	16022,7	16027,5	16032,3	16037,1	16041,9	16046,7	176249,30
Mantenimiento agencia	\$550	\$605	\$633	\$660	\$688	\$688	\$605	\$633	\$660	\$688	\$688	\$7 095
Impuesto de circulación V.E.	\$273	\$589	\$576	\$563	\$550	\$537	\$525	\$513	\$502	\$490	\$479	\$5 598
Zona parqueo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$92	\$91	\$89	\$87	\$85	\$444
												\$14 697

Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la Municipalidad de Alajuela.

Cabe mencionar que el costo del combustible que se utilizó para el análisis fue el de la Gasolina Plus 91, el cual tuvo un costo promedio para el año 2019 de ₡638,0 como precio vigente al consumidor y establecido por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos. Asimismo, basado también en el precio internacional del petróleo, el tipo de cambio y el margen de operación de las estaciones de servicio, transportistas y en los impuestos de los combustibles según el sitio web <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/> de la institución de RECOPE.

Adicional a ello, se consideró el costo de la recarga de energía conforme a la tarifa del costo emitido por la ARESEP; tarifa única de ₡182,72 para el funcionamiento de la red nacional de centros de carga rápida para vehículos eléctricos mediante la resolución RE-0056-IE-2019.

Luego, el recorrido anual de los vehículos se realizó conforme al dato histórico de la Municipalidad de Alajuela para el año 2019. Se consideró el vehículo que más recorrido realizó para este periodo: fue de tipo sedán, marca Daihatsu, año 2015 con 13.054 km. Adicionalmente se consideró una depreciación del vehículo con un aumento de los kilómetros recorridos del 5% para cada periodo del horizonte de evaluación, conforme a los datos brindados por la Municipalidad.

Asimismo, se calculó la depreciación del vehículo en cuanto a su mantenimiento de agencia con un aumento del 5% para cada periodo del horizonte de evaluación. Luego, el impuesto de circulación para un vehículo eléctrico se calculó para uno de tipo sedán eléctrico de marca Hyundai Ioniq, año 2020, el cual tiene un valor fiscal de US \$38 267,0 y un costo del derecho de circulación de US \$282,23 , de acuerdo con lo estipulado por la legislación y reglamentación vigente de los beneficios para vehículos eléctricos, que establece que los vehículos eléctricos estarán exentos del pago del impuesto a la propiedad

de vehículos, por un plazo de cinco años desde el momento de su nacionalización o de su producción, en caso de vehículos ensamblados o producidos localmente.

La exoneración aplica de la siguiente forma:

- 100% de exoneración para el primer año.
- 80% de exoneración para el segundo año.
- 60% de exoneración para el tercer año.
- 40% de exoneración para el cuarto año.
- 20% de exoneración para el quinto año.

Luego se consideraron los beneficios de la exoneración de la restricción vehicular que portan el distintivo emitido por el MINAE, de conformidad con la ley N.º 9518, que exonera de la restricción vehicular de circulación en el área metropolitana, definida por el MOPT.

Además, se exoneró el pago de parquímetros para los vehículos eléctricos que porten un distintivo emitido por el MINAE, que les permita su identificación, mediante acuerdo municipal.

Finalmente, en la tabla 12 se muestran los indicadores financieros del proyecto en el presente asociado a la recuperación de la inversión donde se refleja un análisis comparativo de tres vehículos eléctricos y uno de combustión de consumo de gasolina plus 91.

En el análisis financiero se observa que un vehículo eléctrico de marca BYD- E3 GL, año 2020, tiene un costo mayor al 23,6%, que representa US \$8.587 del costo original del vehículo, seguido de un vehículo eléctrico marca Nissan Leaf, año 2020, con un costo elevado del 29,2%, que representa un monto de US \$11.482 y finalmente un vehículo eléctrico marca Hyundai Ioniq, año 2020, con un costo de 31,0%, que representa un monto de US \$12.487. Cabe mencionar que

estos costos son fehacientes en relación con un vehículo de combustión similar, año 2020, marca KIA Rio HB, el cual tiene un precio en el mercado de US \$24.500.

En un escenario alternativo, se comparó la posibilidad de que la Municipalidad de Alajuela, mediante un esquema de aportes propios y de compensación de costos del proyecto de vehículos eléctricos logre, por ejemplo, el ahorro por pago de combustible, costos operativos de un vehículo eléctrico, kilómetros recorridos y recuperación de la inversión del proyecto en cinco periodos, que corresponden a dos años.

- **Presupuesto de inversiones**

Las inversiones se definen como una erogación de recursos en el presente, con la esperanza de recibir beneficios en el futuro.

- **Inversiones fijas**

Las inversiones fijas son todas aquellas que se realizan para la adquisición de activos fijos. En el caso del proyecto, involucra la compra de vehículos eléctricos e instalación de un sistema de recarga para su operación. Este tipo de inversión es recuperable mediante su capitalización o con el gasto contable por depreciación, de acuerdo con la vida útil del proyecto que, en este caso, es de 10 años.

Para el horizonte de evaluación del proyecto se consideró la tabla 9, la cual muestra las premisas financieras y el tipo de cambio e inflación para el periodo 2020-2030.

Asimismo, durante este análisis se consideró la autonomía para vehículos eléctricos y costo de kwh (kilo Watt hora) que prevalece de acuerdo con su tecnología, como se explica a continuación:

WLTP: es el protocolo de homologación de consumos y emisiones en vigor y obliga a realizar pruebas más cercanas a la conducción real para que sus resultados también se ajusten más a la realidad.

EPA: es la cifra de autonomía homologada, según las pruebas que rigen en Estados Unidos.

NEDC: es la distancia oficial que puede recorrer un coche eléctrico, según las pruebas realizadas con base en el protocolo de homologación *New European Driving Cycle*. Este protocolo ya no se utiliza porque sus resultados mostraban muchos desajustes con respecto a la autonomía real, pero muchos coches eléctricos todavía lo muestran como referencia.

TARIFA V.E. ARESEP: tarifa única de ¢182,72 para el funcionamiento de la red nacional de centros de carga rápida para vehículos eléctricos mediante resolución RE-0056-IE-2019.

Tabla 12. Comparación financiera inversión vehículo eléctrico en el presente.

Evaluación financiera en el presente año 2021	   			
	Vehículo eléctrico BYD- E3 GL	Vehículo eléctrico Nissan Leaf	Vehículo eléctrico Hyundai Ioniq	Vehículo Combustión KIA Rio HB
Potencia	100 kW (134hp)	110 kW (147,5hp)	100 kW (134hp)	102 kW (136hp)
Eficiencia	12,72kWh/100 km	19,4 kWh/100 km	11,5 kWh/100 km	8,80 L/100 km
Precio	\$36000	\$39900	\$38900	\$24500
Autonomía Eléctrica	405(NEDC) 372Km	285(WLTP) 363Km	293(WLTP) 373Km	N/A 393 Km
Capacidad Batería(kWh)	47,3kWh	70,4kWh	42,9kWh	N/A
Consumo recarga kWh ó Combustible	\$121	\$121	\$121	\$1510
Mantenimiento Agencia	\$0	\$0	\$0	\$1100
Impuesto de circulación	\$273	\$273	\$273	\$603
Zona parqueo	\$0	\$0	\$0	\$95
Emisiones Uso Eléctricidad	3,7E-5Ton CO ₂ e	3,7E-5Ton CO ₂ e	3,7E-5Ton CO ₂ e	N/A
Horizonte de evaluación actual	\$ 36 394	\$ 40 294	\$ 39 294	\$ 27 808
% de inversión	23,6%	31,0%	29,2%	
Diferencia costo de inversión financiero	\$ 8 587	\$ 12 487	\$ 11 487	

Fuente: elaboración propia, a partir del análisis financiero, 2020.

Tabla 13. Flujo de caja del proyecto de inversión.

Horizonte de evaluación proyecto	10 años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	-\$39 900										
Capital de inversión de 1,0 % del presupuesto ordinario municipalidad de Alajuela periodo 2021 POI "Objeto de gasto Transporte"	\$45 872										
Compensación costos operativos vehículo de combustión**	\$36 992	\$ 3 213	\$ 3 325	\$ 3 425	\$ 3 527	\$ 3 633	\$ 3 742	\$ 3 855	\$ 3 970	\$ 4 089	\$ 4 212
Costos operativos vehículo eléctrico*	-\$10 871	-\$ 944	-\$ 977	-\$ 1 007	-\$ 1 037	-\$ 1 068	-\$ 1 100	-\$ 1 133	-\$ 1 167	-\$ 1 202	-\$ 1 238
Costos indirectos estación de recarga inversión inicial	-\$5 000										
Flujo neto	\$ 5 971,62	\$ 2 268	\$ 2 348	\$ 2 418	\$ 2 491	\$ 2 566	\$ 2 642	\$ 2 722	\$ 2 803	\$ 2 888	\$ 2 974
Flujo descontado		\$ 2 137	\$ 2 211	\$ 4 423	\$ 4 556	\$ 6 836	\$ 7 041	\$ 9 395	\$ 9 676	\$ 12 107	\$ 12 470
Flujo descontado acumulado		\$ 2 137	\$ 4 348	\$ 4 423	\$ 8 979	\$ 6 836	\$ 13 877	\$ 9 395	\$ 19 071	\$ 12 107	\$ 24 578
% Recuperación de inv. inicial		-77%	-54%	-9%	37%	103%	169%	255%	339%	443%	548%

Fuente: elaboración propia, a partir del análisis financiero, 2020.

Nota:

- Compensación costos de un VE son los beneficios versus gastos de tener actualmente un vehículo de combustión.
- Flujo descontado es utilizado para valorar un proyecto, el cual determina el valor actual de los flujos de fondos futuros que reflejan el costo de capital de la inversión aportada.
- **Costos operativos vehículo de combustión = Costo consumo combustible + Impuesto derecho circulación + Mantenimiento agencia.
- *Costos operativos vehículo eléctrico = Costo consumo recarga kWh + Impuesto derecho de circulación +Mantenimiento agencia.

Tabla 14. Indicadores proyecto de inversión.

INDICADORES FINANCIEROS PROYECTO VEHICULOS ELÉCTRICOS				
Valor Actual Neto, VAN	62857,05	Riesgo asociado a la recuperación de la inversión		
Valor Actual Neto Anualizado, VANA	8609,18	Bajo	Medio	Alto
Tasa Rendimiento Capital Propio	6,17%			
Tasa Interna de Retorno (TIR)	17,28%	<= 30%	>30% y <=70%	> 70 %
Inversión Proyecto Municipalidad Alajuela	\$44 900	Periodo recuperación de la Inversión		
Relación beneficio costo anualizado	140,0%	4 años		
Valor Presente Flujos Positivos	\$11 594,42	Nota		
Valor Presente Flujos Negativos	\$ 5 971,62	En el caso supuesto del porcentaje deseado para el TIR en \$ es de 6,17% o superior.		
Índice deseabilidad	1,9			
Tasa de descuento	6,17%	En este cuadro se resumen los indicadores más importantes para efectos del análisis financiero, que son el VAN, la TIR, la rentabilidad y el Índice de Deseabilidad. En el caso del VAN, solo se aplica la tasa de Capital Propio.		
Período de recuperación	2			

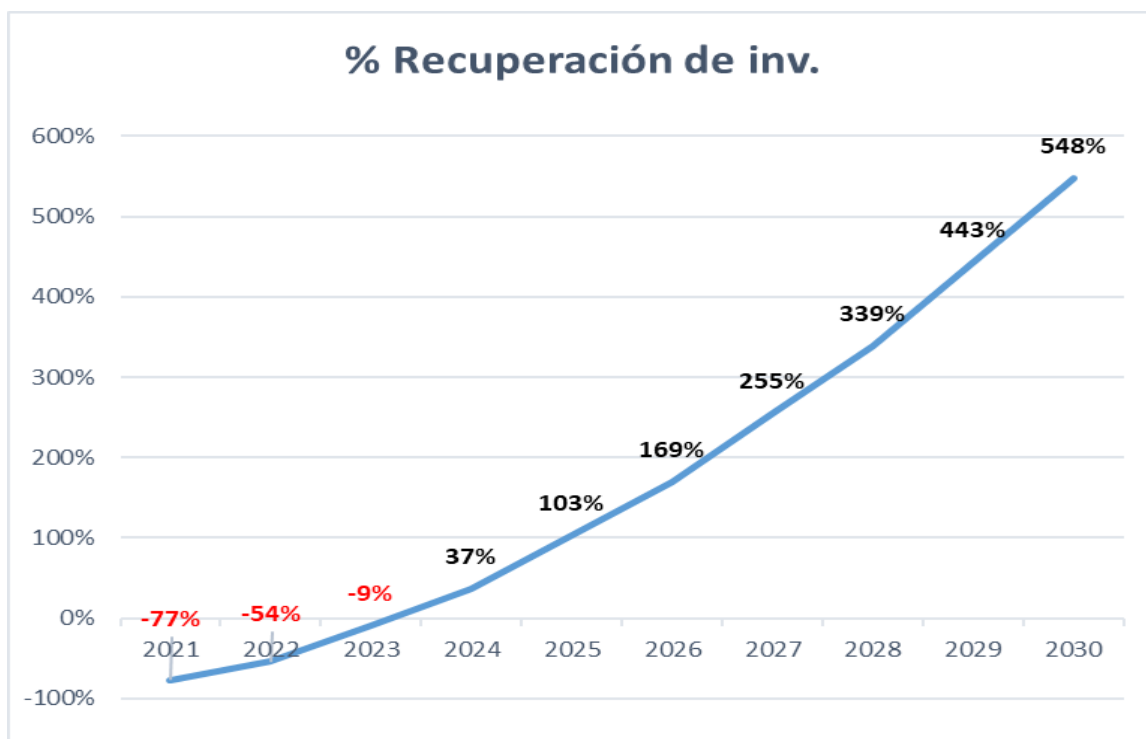
Fuente: elaboración propia, a partir del análisis financiero, 2020.

Nota:

- **VAN** (Valor Actual Neto) se basa en la estimación de los flujos de caja para calcular la viabilidad de un proyecto.
- **TIR** (Tasa Interna de Retorno) se basa en la estimación; cuanto más alto sea el porcentaje del TIR, se está ante un proyecto empresarial rentable, que supone un retorno de la inversión positivo.

En conclusión, se elabora un análisis comparativo entre el porcentaje de recuperación de la inversión versus los periodos de análisis de esta. Esto genera el gráfico 5, que se muestra a continuación.

Gráfico 5. Comparativa recuperación de la inversión del proyecto



Fuente: elaboración propia, a partir del análisis financiero, 2020.

4.2 Propuesta de implementación del proyecto

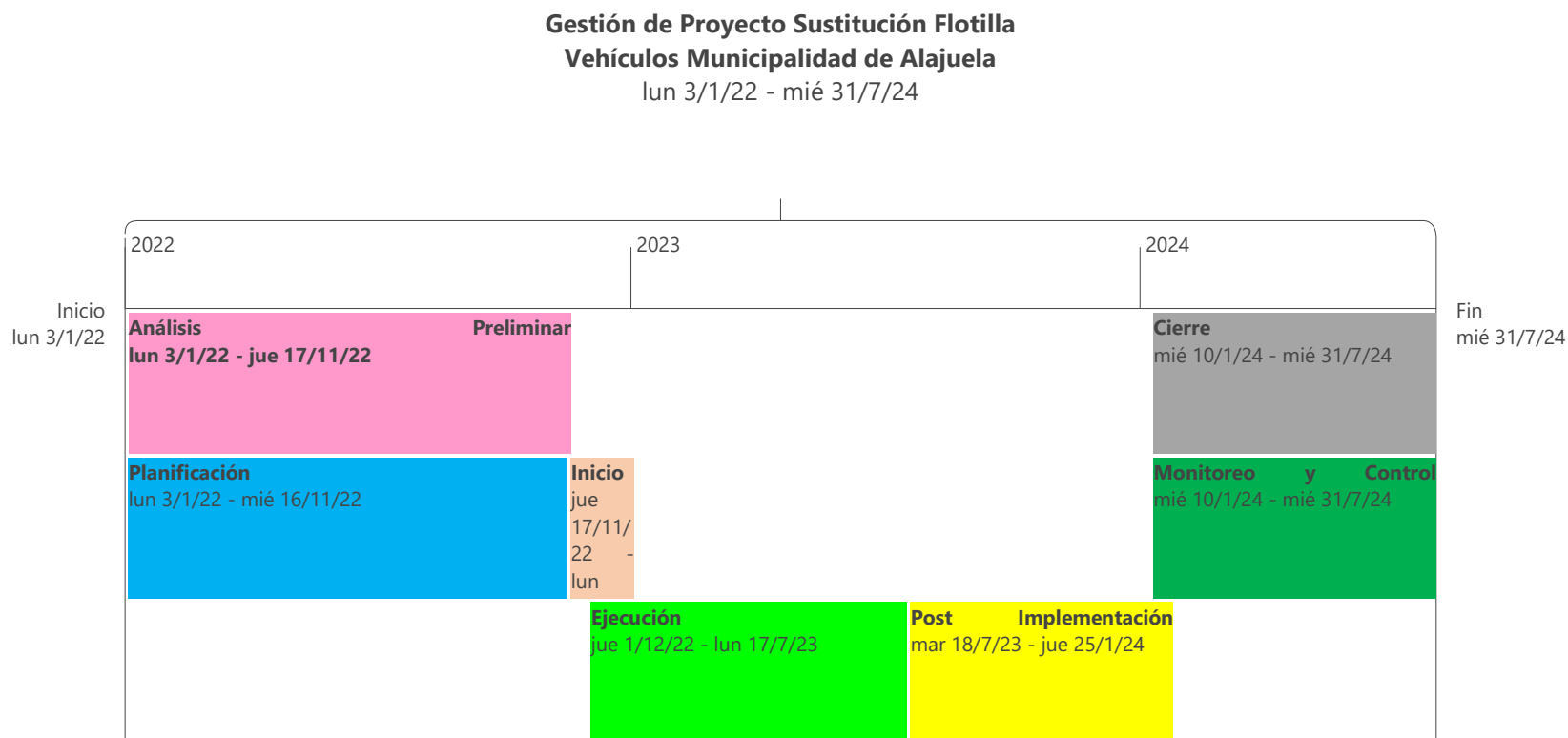
La propuesta de implementación se basa en un diseño a través de la estructura y herramienta de trabajo de manejo de proyectos conocida (por sus siglas en inglés) como PMI. Su versión 6.0, denominada WBS, desarrolla una buena gestión de proyectos, ya que permite un desglose del trabajo como una descomposición jerárquica orientada a la entrega del trabajo por ejecutar por parte del equipo del proyecto por implementar. Esto lleva a una visión amplia del proyecto desde su inicio, como se aprecia en la figura 15.

Particularmente se aprecia un diagrama Gantt en el que se detallan claramente todas las actividades: desde un análisis preliminar, un inicio, una planificación de tareas, una etapa de ejecución, una etapa clave (como lo es el monitoreo y el control), un análisis post implementación para mejores desarrollos y finaliza con la etapa de cierre, con un tiempo total de 672,8 días, correspondientes a los periodos de vinculación; desde los análisis preliminares hasta el cierre meses para implementar el proyecto.

Cabe mencionar que la propuesta de sustitución de vehículos de combustión diésel o gasolina a vehículos eléctricos deberá estar fundamentada en que los vehículos eléctricos por elegir de parte de la Municipalidad de Alajuela deberán tener las siguientes características:

- La mayor autonomía que ofrezca el mercado.
- La mejor capacidad de almacenamiento de la batería (kWh).
- La mejor eficiencia en relación con kWh/100 km.
- El tipo de cargador conforme a la fabricación de vehículos eléctricos, como se indicó en la tabla 4, sobre los diferentes tipos de conectores en centros de recarga para la investigación.

Figura 16. Propuesta tiempo de implementación del proyecto



Fuente: elaboración propia, a partir del análisis financiero, 2021.

Por su parte, en la tabla 14 se muestra cada una de las tareas que debe ejecutar el equipo implementador.

Tabla 15. Propuesta tiempo de implementación del proyecto.

Duración	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
672,8 días	Gestión de proyecto sustitución flotilla vehículos Municipalidad de Alajuela	672,88 días	lun 3/1/22	mié 31/7/24
228,1 días	Análisis preliminar	228,13 días	lun 3/1/22	jue 17/11/22
32,6 días	Inicio	32,63 días	jue 17/11/22	lun 2/1/23
227,8 días	Planificación	227,88 días	lun 3/1/22	mié 16/11/22
162,8 días	Ejecución	162,88 días	jue 1/12/22	lun 17/7/23
145,8 días	Monitoreo y control	145,88 días	mié 10/1/24	mié 31/7/24
137,8 días	Post implementación	137,88 días	mar 18/7/23	jue 25/1/24
145,8 días	Cierre	145,88 días	mié 10/1/24	mié 31/7/24

Fuente: Elaboración propia a partir WBS- PMI, 2021.

Los estudios previos implican dos análisis claves, como lo son el estudio técnico y financiero, su respectiva histórica de compra de vehículos y su obsolescencia, la cual se estima en un tiempo de 228,1 días, como se aprecia en la tabla 15.

Tabla 16. Detalle cronología de tiempo propuesta del proyecto.

Duración	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
228,1 días	Análisis Preliminar	228,13 días	lun 3/1/22	jue 17/11/22
20 días	Histórica compra de vehículos	20 días	lun 3/1/22	lun 24/1/22
20 días	obsolescencia de flotilla vehicular municipal	20 días	lun 24/1/22	lun 14/2/22
60 días	Estudios previos	60 días	lun 14/2/22	lun 9/5/22
30 días	Estudio Técnico	30 días	lun 9/5/22	lun 20/6/22
60 días	Análisis de mercado Vehículos Eléctricos	60 días	lun 20/6/22	lun 12/9/22
60 días	Estudio Financiero	60 días	mié 14/9/22	jue 17/11/22

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

En la tabla 16 se muestra la etapa de inicio del proyecto con las siguientes cuatro tareas macro:

1. Generar un *Project Chárter*.
2. Gestión de Recursos RRHH/Equipo.
3. Diseño Final Infraestructura AML.
4. Definición de vehículos por sustituir.

Cabe indicar que la definición de vehículos por sustituir será clave, dado que influye positivamente en cómo se beneficiarán las diferentes dependencias y áreas de trabajo de la Municipalidad por los resultados el proyecto.

Tabla 17. Etapa de inicio del proyecto.

32,63 días	Inicio	32,63 días	jue 17/11/22	lun 2/1/23
15 días	Project Chárter	15 días	jue 17/11/22	vie 2/12/22
15 días	Gestión Recursos RRHH / Equipo	15 días	jue 17/11/22	jue 8/12/22
25 días	Definición de vehículos por sustituir	25 días	jue 8/12/22	mié 4/1/23

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

En la tabla 17 se muestra la etapa de planificación del proyecto con las siguientes tareas macro:

1. Requerimiento contratación/adjudicación.
2. Elaboración cartel.
3. Análisis de ofertas.
4. Referéndum.
5. Adjudicación / orden de servicio.
6. Firma contrato

Tabla 18. Etapa de planificación del proyecto.

227,8 días	Planificación	227,88 días	lun 3/1/22	mié 16/11/22
45 días	Requerimiento contratación/adjudicación	45 días	jue 8/12/22	jue 9/2/23
153,88 días	Elaboración cartel	153,88 días	mar 1/6/21	vie 31/12/21
15 días	Análisis de ofertas	15 días	jue 9/2/23	jue 2/3/23
30 días	Referéndum	30 días	jue 2/3/23	jue 13/4/23
5 días	Adjudicación / orden de servicio	5 días	jue 13/4/23	jue 20/4/23
3 días	Firma contrato	3 días	jue 20/4/23	mar 25/4/23

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

Estas etapas son claves, ya que implican varias tareas, como el análisis de ofertas, el referéndum (al ser una compra institucional de gran valor financiero con fondos públicos), seguido posteriormente de la adjudicación y del orden del servicio al proveedor o la empresa que cumplirá lo acordado y pactó las especificaciones técnicas, de acuerdo con la firma del contrato.

Asimismo, no se debe dejar de lado el plan de adquisiciones, que será parte clave en el desarrollo del proyecto, ya que se debe validar y garantizar cada uno de los requerimientos ofrecidos y los pactos en la oferta final, en la entrega de mercancías.

Tabla 19. Propuesta planificación gestión del proyecto.

92,0 días	Plan Adquisiciones	92,0 días	vie 21/4/23	mar 18/7/23
30 días	Especificaciones Técnicas	30 días	vie 21/4/23	mié 24/5/23
15 días	Analizar modelos de tecnologías	15 días	mié 24/5/23	jue 8/6/23
15 días	Análisis de Ofertas	15 días	jue 8/6/23	jue 29/6/23
5 días	Adjudicación	5 días	jue 29/6/23	mié 5/7/23

12 días	Inspección Técnica de entrega Vehículo	12 días	mié 5/7/23	mar 18/7/23
5 días	Plan de Calidad	5 días	mar 18/7/23	lun 24/7/23
5 días	Plan de Costos	5 días	mar 18/7/23	lun 24/7/23
5 días	Plan de Comunicación	5 días	mar 18/7/23	lun 24/7/23

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

En la tabla 19 se muestra la etapa de ejecución del proyecto con las siguientes tareas macro:

Tabla 20. Propuesta ejecución gestión del proyecto.

110 días	Ejecución	110 días	jue 1/12/22	lun 17/7/23
15 días	Establecer capacitación de utilización vehículo eléctrico	15 días	mar 25/4/23	mié 10/5/23
95 días	Instalación estación de recarga vehículo eléctrico edificio municipal	95 días	jue 4/5/23	jue 14/9/23
60 días	Instalación de estaciones de recarga para vehículos eléctricos	60 días	mié 10/5/23	jue 13/7/23
30 días	Validación y pruebas de vehículos eléctricos	30 días	jue 11/5/23	jue 22/6/23
5 días	Aceptación final / informe	5 días	jue 22/6/23	jue 29/6/23

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

En la tabla 20 se muestra la propuesta de monitoreo, control y post implementación, la cual debe contemplar dos etapas importantes, como los son el *test drive* del vehículo eléctrico, como también de control y seguimiento de la estación de recarga para vehículos eléctricos. Además, esta etapa es clave en todo proyecto, ya que de ella depende el éxito de la operación y el desarrollo del proyecto; tanto en el presente como en el futuro. Asimismo, brinda una solución a posibles problemas o inconvenientes que surgen en la implementación.

Luego, la propuesta post implementación tiene dos actividades claramente definidas, como lo son los beneficios y cumplimientos del proyecto junto con el

análisis de las estadísticas y la reportería de la gestión del proyecto, donde se deben plasmar todas las lecciones aprendidas para próximas implementaciones y los desarrollos futuros.

Tabla 21. Propuesta de monitoreo, control y post implementación.

300 días	Monitoreo y Control	300 días	mié 10/1/24	mié 31/7/24
200 días	Test drive vehículo eléctrico	200 días	mar 20/4/21	jue 18/11/21
100 días	Control y seguimiento estación de recarga para vehículos eléctricos	100 días	mié 10/1/24	jue 25/4/24
180 días	Post Implementación	180 días	mar 18/7/23	jue 25/1/24
180 días	Beneficios / cumplimientos	180 días	mar 25/10/22	jue 4/5/23
180 días	Estadísticas / reportería	180 días	mar 25/10/22	jue 4/5/23

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

Finalmente, en la tabla 21 se presenta la propuesta de cierre del proyecto, la cual tiene cinco actividades secuenciales de suma importancia, como lo son:

1. Entrega y cierre de actas del proyecto.
2. Cierre técnico.
3. Lecciones aprendidas.
4. Capitalización del proyecto.
5. Cierre administrativo.

Con base en todo el análisis realizado, se concluye que para el desarrollo del proyecto *Sustitución flotilla vehículos Municipalidad de Alajuela*, se debe plasmar un desarrollo amplio con tareas y el control de tiempos por medio de informes en cada una de las etapas indicadas anteriormente. De ello dependerá el

éxito y desarrollo para la institución, junto con el equipo implementador actual y para posibles desarrollos futuros.

Tabla 22. Etapa de cierre.

125 días	Cierre	125 días	mié 10/1/24	mié 31/7/24
15 días	Aptas de entrega / cierre	15 días	mié 10/1/24	jue 25/1/24
30 días	Cierre técnico	30 días	jue 25/1/24	mar 27/2/24
20 días	Lecciones aprendidas	20 días	mar 27/2/24	mar 19/3/24
30 días	Capitalización proyecto	30 días	jue 25/1/24	jue 7/3/24
30 días	Cierre administrativo	30 días	jue 7/3/24	jue 18/4/24

Fuente: elaboración propia, a partir WBS- PMI, 2021.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones están basadas en los resultados finales y en el análisis de resultados, como parte de la respuesta a los objetivos específicos planteados en el proyecto. Cabe indicar que obedecen al desarrollo de la investigación en el desarrollo de cada uno de los capítulos, especialmente el capítulo III y IV de este documento.

CONCLUSIONES

1. El vehículo eléctrico permite reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones en el sector transporte, debido a la mayor eficiencia energética de su tecnología, por lo que se presenta como una de las grandes alternativas del futuro.
2. El vehículo eléctrico tiene una contribución positiva a la sostenibilidad ambiental del sector transporte. Por un lado, disfruta de una eficiencia energética muy superior al vehículo convencional. Por otro, permite la penetración de las energías renovables en el transporte por carretera; un ámbito con enormes dificultades para su introducción.
3. La compra de un vehículo eléctrico con la autonomía máxima contemplada puede beneficiarse no obstante dependerá del uso y recorrido que se emplee para el vehículo.
4. Los vehículos eléctricos resultan una opción muy interesante para la gente que realiza diariamente desplazamientos en ciudad o trayectos largos. Además, el precio de las baterías y el precio de la adquisición de este tipo de vehículos está bajando y cada vez las autonomías son mayores.
5. Las emisiones de un vehículo eléctrico se situarían en algo más de 3 kg de CO₂ por cada 100 kilómetros; menos de una quinta parte de las emisiones de un vehículo convencional, que está situada en unos 16 kg de CO₂ por cada 100 kilómetros.

6. Actualmente no existen muchas estaciones de recarga de vehículos eléctricos. Sin embargo, la infraestructura de recarga se ampliará progresivamente en los próximos años, debido a iniciativas públicas y privadas.
7. De acuerdo con los cálculos realizados, se han llegado a determinar los inconvenientes que presenta el vehículo eléctrico en cuanto a los requerimientos necesarios para cubrir los costos y rentabilidad financiera; no obstante, es una excelente oportunidad en cuanto su costo empieza a disminuir.
8. Los resultados muestran una autonomía real para el vehículo eléctrico de hasta 373 Km, con un consumo de energía promedio de 11,5 kWh/100km, equipado con una batería de polímero de lón de litio capacidad de 38.3 kWh/120 Ah para satisfacer una distancia promedio de recorrido diario mayor o igual a 300 km.

RECOMENDACIONES

1. En el caso particular del análisis financiero, cabe rescatar que los resultados de la evaluación son mediante el uso de recursos propios y costos de compensación que se indican en el proyecto, de acuerdo con las tablas 10 y 11, en las que se muestran niveles de rentabilidad positivos, para un periodo de diez años de su implementación. Habría que compararlo con otra alternativa financiera a mayor tiempo, al variar los escenarios y valores posibles para cada uno de los múltiples parámetros que forman parte del modelo financiero utilizado para el proyecto actual.
2. Por otro lado, se propone que el uso de una infraestructura de vehículos eléctricos deberá permitir la reducción de gastos operativos de tareas de campo, logrando, así, mayor eficiencia en la atención en tiempo real sobre los servicios que brinda la Municipalidad de Alajuela en su gestión institucional.
3. La compatibilidad de tecnologías de vehículos eléctricos cada vez será más versátil, abierta, con diversidad de tecnologías y herramientas para un mejor beneficio de los usuarios en relación con los costos, lo cual beneficiará a los usuarios finales.
4. El desarrollo de una estrategia de cambio de la flota vehicular con objetivos claros será la clave para integrar las soluciones y los esfuerzos deseados para implementar la tecnología oportuna.
5. El horizonte de análisis de tiempo de ejecución por los costos del proyecto se determinó en un periodo de diez años; de no ejecutarse el proyecto o se desarrolle fuera del tiempo estimado, no permitiría algún riesgo mayor para los beneficios de la Municipalidad de Alajuela, en cuanto a la rentabilidad deseada.

6. Existe un riesgo que no debe ser limitante respecto del recurso económico; al ser un proyecto de gran impacto por su costo y beneficio financiero. Sin embargo, es conocido que todo proyecto, desde el punto de vista de tecnológico, es un recurso útil para las labores diarias de atención de los usuarios de la Municipalidad de Alajuela y bien administrado podría generar rentabilidad.
7. Es necesario la capacitación para el desarrollo del proyecto tanto a nivel interno como externo para su ejecución exitosa. Además de buscar el personal idóneo para transferir el conocimiento, ya que se trata de agentes de cambio en una empresa.
8. Se propone contemplar finalizado este tipo de proyectos centralizar sus operaciones, las cuales pasen a la acción por medio de la parte operativa de la institución a través del proceso transporte y taller de la Municipalidad de Alajuela.
9. Finalmente, desde el punto de vista del investigador, se sugiere que la estación de recarga ubicada actualmente en la Municipalidad se pueda mejorar y sea del tipo III, de acuerdo con los diseños y parámetros dados en esta investigación, lo cual permitirá un mayor registro y control del consumo del vehículo eléctrico adquirido por la Municipalidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ONU. (2018). *Movilidad eléctrica, avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración regional*. Organización Naciones Unidas.
- Alvarado, H. C., Palacios, S. L., Durán, J. C. (2019). *Caso Tesla Plan Estratégico*. Lima, Peru.
- ARESEP. (2018). *Normativa técnica nacional*. Obtenido de <https://aresep.go.cr/normativa/1392-normativa-tecnica-nacional>
- CIER. (2018). *Comisión de Integración Energética Regional (CIER)*. Obtenido de <http://www.cambioclimatico-regatta.org/index.php/es/instituciones-clave/item/comision-de-integracion-energetica-regional-cier>
- Cifuentes, D. A. (2019). *Sistema de carga para vehículos eléctricos aplicados al área metropolitana de Bucaramanga*. Bucaramanga, Colombia.
- CNFL S.A. (2019). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.* Obtenido de <https://www.cnfl.go.cr/tarifas-vigentes>
- European Federation for Transport and Environment AISBL. (2019). *Aumento eléctrico planes de automóviles eléctricos de los fabricantes de automóviles en Europa 2019-2025*. Square de Meeûs, Bruselas, Bélgica.
- García, J. (2009). Vehículos Eléctricos. *Nuevas Tecnologías*, 3.
- Herron, D. (2016). Obtenido de Estándares de carga rápida de EV DC, CHAdeMO, CCS, SAE Combo, Tesla Supercharger. Obtenido de <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html>
- INTECO. (2020). *Norma INTE N121:2020 Infraestructura de centros de recarga para vehículos eléctricos*. Costa Rica.
- Ministerio Ambiente y Energía – Costa Rica. (2020). *Energía*. Obtenido de <https://web.energia.go.cr/2020/06/09/movilidad-electrica-costa-rica/>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2019). *Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030*. San José, Costa Rica.

- Ministerio de Ambiente y Energía. (2019). *VII Plan Nacional de Transporte Eléctrico (PNTE) 2018-2030 (MINAE)*. San José, Costa Rica.
- Periódico Global el País-España. (2019). *China encabeza la carrera del coche eléctrico con el 56%*. Madrid, España.
- Secretaría Planificación Subsector Energía (MINAE). (2020). Electrificación del Transporte Público en Costa Rica. *Revista Energía*, 32.
- Serrano, J. G. (2018). *El vehículo eléctrico, análisis, evolución y perspectivas de futuro*. Madrid, España.
- Transport & Environment (T&E). (2017). *Transport & Environment*. Obtenido de <https://www.transportenvironment.org/press/le-auto-elettriche-emettono-meno-co2-del-diesel-nel-loro-intero-ciclo-di-vita-anche-quando>
- Transport & Environment. (2018). *Estrategias de reducción de emisiones para el sector del transporte en España*. Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente AISBL, España.

ANEXOS

Anexo 1 Carta revisión filológica

Heredia, Costa Rica, 4 de abril de 2021

Señores
Universidad Técnica Nacional
Sede del Pacífico

Luego de un respetuoso saludo, hago de su conocimiento que he recibido del Sr. Kenneth Cooper Zúñiga, cédula 110190253, el documento que lleva por nombre: *Estudio de viabilidad técnica y financiera para la sustitución de flotilla vehicular de vehículos eléctricos en la Municipalidad de Alajuela, Costa Rica*, para su respectiva revisión filológica.

Añado que he procedido a revisar los aspectos de forma, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje encontrados en el texto.

Por lo tanto, una vez incorporadas las correcciones recomendadas por parte del interesado, expido esta carta de aprobación filológica, pues el documento, desde ese punto de vista, se encuentra listo para lo correspondiente.

Se despide, atentamente,



Filóloga
Lcda. A. Gabriela Pacheco Padilla
Código profesional Colypro: 82630
Carné Acfil N.º 0128

Anexo 2 Carta autorización Cesión de derechos

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL (Trabajo colectivo)

Fecha :17-05-2021

Señores: Vicerrectoría de Investigación
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Sustentantes	Cedula
Kenneth Cooper Zúñiga	1-10190253

Mi persona en calidad de autor del trabajo de graduación titulado:
Estudio de viabilidad técnica y financiera para la sustitución de flotilla vehicular por vehículos eléctricos en la municipalidad de Alajuela.

El cual se presenta bajo la modalidad de:

- ☐ Seminario de Graduación
☒ Proyecto de Graduación
☐ Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 7/05/2021, autorizamos a la Universidad Técnica Nacional, sede del Pacifico, para que el trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	SI	NO
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X	
Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X	

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presentamos es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma conjunta, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizamos que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Conscientes de que las autorizaciones no reprimen nuestros derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confiamos en que la Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar nuestros derechos de propiedad intelectual.

Nombre	Cedula	Firma
Kenneth Cooper Zúñiga	1-10190253	KENNETH COOPER ZUÑIGA (FIRMA) Firmado digitalmente por KENNETH COOPER ZUÑIGA (FIRMA) Fecha: 2021.05.17 12:46:54 -06'00'

Día: Lunes 17 de mayo del 2021.