

Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo A. Podestá"

Repositorio Institucional

Estudio de factibilidad de bus eléctrico para el trayecto Campus UNVM – Terminal de ómnibus de Villa María

Electric bus factibility study for Campus UNVM – Villa María terminal path

> Año 2019

Autor Quintilla, Tomás

Director de tesis Pierantonelli, Mario Luis

Este documento está disponible para su consulta y descarga en el portal on line de la Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo Alberto Podestá", en el Repositorio Institucional de la **Universidad Nacional de Villa María.**

CITA SUGERIDA

Quintilla, T. (2019). Estudio de factibilidad de bus eléctrico para el trayecto Campus UNVM – Terminal de ómnibus de Villa María. Villa María : Universidad Nacional Villa María



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

Universidad Nacional de Villa María Instituto A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas

Trabajo Final de Grado para optar al título de Licenciado en Ambiente y Energías Renovables

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE BUS ELÉCTRICO PARA EL TRAYECTO CAMPUS UNVM – TERMINAL DE ÓMNIBUS DE VILLA MARÍA

AUTOR: Quintilla, Tomás

Villa María, Córdoba Diciembre 2019 Estudio De Factibilidad De Bus Eléctrico Para El Trayecto Campus
UNVM – Terminal De Ómnibus De Villa María

Universidad Nacional de Villa María

Instituto Académico-Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas

Título del trabajo: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE BUS ELÉCTRICO
PARA EL TRAYECTO CAMPUS UNVM – TERMINAL DE ÓMNIBUS DE
VILLA MARÍA

000 del Consejo Superior)	
Nombre y Apellido	Firma

Firma

Nombre y Apellido

Universidad Nacional de Villa María Instituto A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas

Trabajo Final de Grado para optar al título de Licenciado en Ambiente y Energías Renovables

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE BUS ELÉCTRICO PARA EL TRAYECTO CAMPUS UNVM – TERMINAL DE ÓMNIBUS DE VILLA MARÍA

AUTOR:

Quintilla, Tomás

DIRECTOR:

Ing. Mario Pierantonelli

Villa María, Córdoba Diciembre 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, por poner toda su confianza en mí, por guiarme y llenar mi vida de consejos. A mis hermanas a quienes quiero muchísimo. A mis abuelos por brindarme tanto amor, apoyo y por las miles de anécdotas contadas. A mis amigas y amigos por apoyarme cuando más lo necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día. Dedicado a mi director por guiarme y acompañarme en este largo camino que hemos recorrido juntos. Dedicado a la memoria de mi abuelo Leandro que me mira desde el más allá y seguramente se siente muy orgulloso de mí. A mi sobrino por todo el amor que me brinda día a día.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a mis padres por darme la oportunidad de tener una carrera profesional y haberme bancado en todas por tantos años.

A mis compañeros de curso, por hacer el trayecto amigable y placentero, por la solidaridad, humildad, compañerismo y por todos los momentos compartidos.

A mi tutor de tesis por haberme guiado, no sólo en la elaboración de este trabajo sino durante toda la carrera universitaria.

A mis amigos y amigas, con los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo.

A los profesores de la carrera que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y como profesional.

A la universidad por brindar el espacio y las oportunidades para enriquecer mi conocimiento.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN1		
2.	RE	VISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.	1	Vehículos Eléctricos	3
	2.1.	1 Mercado de buses eléctricos	5
	2.1.	2 Tranvía y trolebús	7
2.	2	BATERÍAS	8
2.	3	Matriz Energética	.16
2.		EMISIONES LOCALES	
2.	5	RADIACIÓN SOLAR	.22
2.	6	Marco Legal	.23
	2.6.	3 Ley Nacional 27.424	.23
	2.6.	4 Vehículos eléctricos	.23
3.	OB	BJETIVOS	.25
•			
3.		OBJETIVO GENERAL	
3.	2	Objetivos Específicos	.25
4.	M	ATERIALES Y MÉTODO	.26
4.	1 .	ÁREA DE ESTUDIO	.26
4.	2	Metodología	.27
	4.2.	1 Factibilidad	.27
	4.2.	2 Determinación de la situación de transporte actual en el trayecto estudiado	.28
	4.2.	3 Análisis y comparación de alternativas eléctricas disponibles en el mercado	.28
	4.2.	4 Proyectar un prototipo de bus eléctrico adaptado a las necesidades del caso de estudio.	.29
	4.2.	5 Costo Ambiental de los vehículos	.29
	4.2.	6 Evaluación del impacto del transporte propuesto en la matriz energética	.30
5.	RE	SULTADOS	.31
5.	1	TRANSPORTE ACTUAL	.31
5.	2	ALTERNATIVAS DE MERCADO DE BUSES ELÉCTRICOS	.33
	5.2.		
	5.2.	·	
5.	3	PROTOTIPO DE BUS ELÉCTRICO	.36
5.		IMPACTO AMBIENTAL	
	5 4	1 Emisiones directas	4 1

	5.4.2	Emisiones indirectas de buses eléctricos	.41
5.	.5 IMPA	ACTO EN LA RED ELÉCTRICA	.42
5.	.6 F аст	TIBILIDAD	.42
6.	CONCL	LUSIONES	.44
7.	BIBLIO	OGRAFÍA	.46
8.	ANEXO	os	.47

Índice de Tablas

Tabla 1. Precios de buses en USD del mercado internacional	7
Tabla 2. Baterías de plomo ácido	9
Tabla 3. Características baterías LCO	11
Tabla 4. Características baterías LMO	12
Tabla 5. Características baterías NMC	13
Tabla 6. Características baterías LFP	13
Tabla 7. Características baterías NCA	14
Tabla 8. Características baterías LTO	14
Tabla 9. Factor de emisión por combustible 2018	21
Tabla 10. Consumo de combustible 2018	21
Tabla 11. Emisiones de CO ₂ por combustible 2018	21
Tabla 12. Emisiones vs Generación 2018	21
Tabla 13. Generación térmica 2018	21
Tabla 14. Evolución de la normativa de emisiones europea	22
Tabla 15. Costos de los vehículos.	27
Tabla 16. Comparación de vehículos.	28
Tabla 17. Características del combustible diésel	30
Tabla 18. Características vehículo diésel.	31
Tabla 19. Resumen datos empresa TRANSBUS.	32
Tabla 20. Costos de mantenimiento.	32
Tabla 21. Características Bus Yutong E12	33
Tabla 22. Características Bus BYD K9G.	34
Tabla 23. Características Metrobús Rosario	35
Tabla 24. Características Motor Eléctrico ALPHA ELECTRIC	36
Tabla 25. Características Motor eléctrico FOSHAN UNI TECHNOLOGY	37
Tabla 26. Características Motor eléctrico WEG.	37
Tabla 27. Paquete de baterías para sistema de carga en oportunidad	38
Tabla 28. Paquete de baterías para sistema de carga única	39
Tabla 29. Costos asociados estimados	40
Tabla 30. Emisiones directas por línea en el mes de junio 2018	41
Tabla 31. Emisiones de CO ₂ indirectas de los buses eléctricos	41
Tabla 32. Comparación de emisiones de buses eléctricos con bus diésel	42
Table 22 Factibilidad económica en energción	12

Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de propulsión	4
Figura 2. Ejemplo tranvía de Murcia en la avenida Juan Carlos I	8
Figura 3. Flujo de iones en la batería de litio	10
Figura 4. Energía primaria Argentina por fuente	17
Figura 5. Energía secundaria por sector., Argentina 2018	17
Figura 6. Energía secundaria del sector transporte	18
Figura 7. Flota vehicular Argentina ADEFA 2018.	19
Figura 8. Generación de energía eléctrica Argentina 2018 por fuentes	19
Figura 9. Combustible equivalente generación térmica. Argentina 2018	20
Figura 10. Emisiones de CO ₂ por combustible Argentina 2018	20
Figura 11. Atlas Solar Global del Banco Mundial. Ciudad de Villa María, Córdoba	23
Figura 12. Localización de la Ciudad de Villa María.	26
Figura 13. Ciudad de Villa María y recorrido estudiado	26
Figura 14. Recorrido líneas 102, 104, 106	31
Figura 15. Bus Yutong E12	33
Figura 16. Bus BYD K9G.	34
Figura 17. Metrobús Rosario.	35
Figura 18. Esquema techo con paneles solares.	39
Figura 19. Ejemplo de bus eléctrico con techo solar.	39

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE BUS ELÉCTRICO PARA EL TRAYECTO CAMPUS UNVM – TERMINAL DE ÓMNIBUS DE VILLA MARÍA

Autor: Tomás Quintilla

Director: Mario Pierantonelli

Resumen

A nivel mundial el sector transporte es uno de los que más energía consume, lo cual deriva en que es uno de los sectores que más contribuye al cambio climático debido a que la energía consumida proviene en su mayor parte de origen fósil. Además, en los últimos años este campo ha experimentado un gran crecimiento de la mano del parque automotor mundial. Por ello, es importante en orden de alcanzar la sustentabilidad, mejorar la oferta de transporte y disminuir el uso de combustibles fósiles mediante la reducción de vehículos a combustión y la inserción de transporte amigable con el medio ambiente. En este trabajo se investigó la factibilidad de implementar un transporte público basado en móviles eléctricos para cubrir el trayecto Campus UNVM - Terminal de ómnibus de Villa María. Para ello, se llevó a cabo un diagnóstico de la situación actual del transporte público en el trayecto, y se consideraron diferentes alternativas: compra de rodados eléctricos que existen en el mercado, y el desarrollo de un prototipo mediante la conversión y adaptación de un ómnibus de combustión a eléctrico. Además, en función de trabajos de investigación previos del equipo de trabajo en los cuales se demostró la sinergia que poseen los vehículos eléctricos con la energía distribuida fotovoltaica, se analizó la posibilidad de colocar paneles solares en el techo del bus, y de sumar una estación fotovoltaica en el predio universitario para cubrir el total de la energía que consume el vehículo eléctrico. Se evaluaron costos y beneficios de los vehículos estudiados y se compararon las alternativas. Como conclusión del trabajo, se comprueba la hipótesis planteada que, al reemplazar los buses a combustión con eléctricos, se obtienen ventajas económicas, técnicas, ambientales y sociales para la ciudad. Finalizado el estudio de factibilidad, se realizará un anteproyecto para presentar a los organismos involucrados: UNVM, Municipalidad de Villa María y eventuales fabricantes o desarrolladores interesados.

Palabras clave: bus eléctrico, transporte, sustentable, baterías de litio.

ELECTRIC BUS FACTIBILITY STUDY FOR CAMPUS UNVM – VILLA MARIA TERMINAL PATH

Author: Tomas Quintilla

Director: Mario Pierantonelli

Summary

Throughout the world, the transport sector is one of the most energy-consuming, which means that it is one of the fields that contributes the most to climate change because the energy consumed comes mostly from fossil origin. In recent years this sector has experienced great growth in hand with the global vehicle fleet. Therefore, it is important, in order to achieve sustainability, to improve the transport supply and decrease the use of fossil fuels by reducing combustion vehicles and inserting environmentally friendly transport. This work's aim was to investigate the feasibility of implementing public transport based on electric mobiles to cover the route Campus UNVM - Bus Terminal of Villa María. To achieve this, a current situation diagnosis was held, and different alternatives, the purchase of an electric bus that exists in the market, and the development of a prototype by converting and adapting a combustion bus into an electric one were considered. In addition, in previous UNVM research works, it has been demonstrated the synergy possessed by electric vehicles with photovoltaic distributed energy, so the possibility of placing solar panels on the roof of the bus were analyzed. Furthermore, the viability of adding a photovoltaic station in the University site to cover the total energy consumed by the electric vehicle were studied. Costs and benefits of the vehicles studied were evaluated and the alternatives were compared. As a conclusion, it was proved that replacing the combustion buses with electric ones provides economic, technical, environmental and social advantages for the city. Once the feasibility study has been finished, a preliminary draft will be designed to present to the institutions involved: UNVM, Villa María City Hall and possible manufacturers or developers interested.

Keywords: electric bus, transport, sustainable, lithium batteries

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE BUS ELÉCTRICO PARA EL TRAYECTO CAMPUS UNVM – TERMINAL DE ÓMNIBUS DE VILLA MARÍA

Autor: Tomás Quintilla

Director: Mario Pierantonelli

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, según la Agencia Internacional de Energía (AIE) el sector transporte fue el responsable del 25% en el año 2017 de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por consumo de combustible fósil. Este sector experimentó un gran incremento de las emisiones en las últimas dos décadas, el cual se debió al gran aumento del parque automotor mundial, principalmente en los países desarrollados. En Argentina, en el año 2018 según el informe de Balance Energético Nacional del Ministerio de Energía y Minería, el transporte consumió el 32% de la energía secundaria del país. Esta energía provino principalmente de derivados de petróleo (86%) y gas natural (14%), y fue consumida según el informe 2018 de la Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFA) por los 14.084.326 vehículos que circulan en el parque automotor del país, el 3.5% del total está compuesto por vehículos pesados (camiones y buses), teniendo esta área un promedio de 15 años de antigüedad, siendo la antigüedad un indicador de vehículos de mayores emisiones y de baja eficiencia en la transformación del combustible en energía en comparación con vehículos nuevos.

Según la CEPAL1 (2012), el vertiginoso crecimiento de la movilidad urbana y de la tasa de motorización en Latinoamérica hace necesario planificar el mejor uso de la infraestructura existente, para lo cual deben introducirse diversas mejoras que restablezcan el equilibrio de la asignación original del espacio vial entre medios públicos y privados de transporte y, a la vez, den cuenta de la necesidad de dar espacio a los modos de transporte no motorizados y su articulación con los sistemas de transporte público. Desde esta perspectiva, el espacio público asignado al desplazamiento de las personas debe dar prioridad a los servicios de transporte de mayor eficiencia, para lo cual deberá optimizarse el uso de los recursos y la capacidad vial dinámica. La optimización implica tanto un uso preferencial por los medios de transporte colectivos y masivos, como el favorecimiento de la mezcla sana de usos de suelo de modo que la vialidad sea empleada por una mayor cantidad de personas por unidad de tiempo y en tramos más cortos. Unas de las medidas para lograr lo mencionado es mejorar la oferta de movilidad urbana, promoviendo un sistema de transporte público eficiente, inclusivo y sostenible. A fines de reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes, gobiernos de todo el mundo comenzaron a tomar medidas, poniendo en marcha incentivos financieros para el desarrollo y promoción de nuevas tecnologías más eficientes y amigables con el medio ambiente, como lo son los vehículos eléctricos. Un ejemplo de ello se ha dado en Uruguay en la ciudad de Montevideo, donde el

¹ Comisión Económica Para América Latina y el Caribe.

gobierno, en conjunto con la empresa proveedora de energía eléctrica, ha invertido en una flota de taxis, colectivos y camionetas eléctricas.

En la actualidad, la movilidad eléctrica presenta una serie de ventajas con respecto a los vehículos con motores de combustión interna tanto en eficiencia energética como en el objetivo de cero emisiones de contaminantes locales, además de un gran potencial en integración con energías renovables, generando la posibilidad de muy bajas emisiones en un análisis de ciclo de vida. Argentina presenta las mejores condiciones para que los vehículos eléctricos entreguen sus mayores beneficios en términos de cambio climático, ya que la electricidad tiene un alto potencial para ser generada en gran medida con energías renovables, principalmente solar y eólica (López, Galarza 2016). Parte de esta integración con las energías renovables es comprobada por el trabajo de investigación de la UNVM titulado "Sinergia entre vehículos eléctricos y generación distribuida fotovoltaica" llevado a cabo por el mismo grupo de trabajo en años anteriores.

Existen pocos trabajos de investigación sobre buses eléctricos, y de los cuales, casi en su totalidad, son sobre buses comerciales de mercado con grandes paquetes de baterías, y no incluyen las conversiones de convencionales a eléctricos ni los sistemas de carga de oportunidad estudiados en este trabajo.

La utilización de buses eléctricos supone una reducción en el consumo de combustible pudiendo generar un importante ahorro para el Estado en la importación de combustible fósil y brindando una independencia de las variables internacionales vinculadas al mercado del petróleo. La disminución del consumo traería consigo una reducción de las emisiones de GEI y de contaminantes locales como NO_x (óxidos de nitrógeno) y material particulado. Además, los motores eléctricos a diferencia de los motores a combustión no emiten ruidos al exterior, de modo que, disminuyen la contaminación sonora del sector urbano.

Es necesario, en orden de alcanzar la sustentabilidad, reemplazar el paradigma de movilidad urbana dependiente del combustible fósil con vehículos eléctricos, ya que éstos extraen su potencial máximo en el circuito urbano, donde las distancias son cortas, las frenadas son muy frecuentes y las velocidades relativamente bajas, logrando reducir los costos ambientales y económicos del transporte urbano y dando un paso hacia la independencia de los combustibles fósiles. Para ello, se plantea en este trabajo estudiar la factibilidad de conversión de un bus convencional a eléctrico mediante la comparación con el sistema actual y las alternativas disponibles en el mercado. Se presenta como hipótesis que la movilidad eléctrica presenta ventajas económicas, técnicas, ambientales y sociales para el transporte de pasajeros de la ciudad.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La propulsión eléctrica para vehículos surgió hace más de un siglo y su despliegue ocurrió antes de la introducción de los vehículos que ahora son convencionales de combustión interna. La expansión del sistema de carreteras, su bajo rango de autonomía, la limitada velocidad y el alto costo relativo de estos vehículos les hicieron virtualmente desaparecer del mercado, salvo en nichos como trolebuses o trenes eléctricos. Con los avances tecnológicos actuales principalmente en el sector de baterías de alta densidad los vehículos eléctricos autónomos han ingresado en los últimos años en la agenda internacional y los mercados competitivos (López, Galarza 2016).

La tecnología que más ha penetrado en el mercado de vehículos eléctricos autónomos es la de los autos híbridos, estos cuentan con un motor convencional a combustión interna y con un motor eléctrico alimentado por batería. Los vehículos híbridos se separan en dos grandes categorías, los que se enchufan para cargar las baterías donde el motor principal es el eléctrico, y los tradicionales los cuales la carga de baterías se realiza en funcionamiento y donde el motor principal es a combustión (López, Galarza 2016). Existen en el mercado varios tipos de acople del motor eléctrico, como puede ser un ejemplo el de los dos motores funcionando al mismo tiempo, o incluso lujosos autos de grandes prestaciones deportivas con más de 2 motores como es el caso del Acura NSX que cuenta con un motor a combustión y 3 motores eléctricos, que aportan en conjunto una potencia superior a los 550 CV.

La otra categoría, y que más interesa en este estudio es la de los vehículos eléctricos puros, los cuales cuentan solamente con el motor eléctrico y un banco de baterías alta densidad que aportan una mayor autonomía que en el caso de los híbridos. Las baterías más utilizadas en el caso de estos vehículos son las de iones de litio (Li-ion). Estas baterías cuentan con altas densidades en relación a las alternativas disponibles (como en el caso de Argentina donde predominan las baterías de plomo ácido o baterías de gel), por ende, las baterías de litio proporcionan más potencia y energía en relación a su tamaño y peso, algo crucial en aplicaciones móviles donde la premisa es reducir el peso para mejorar la eficiencia del vehículo. Además, las baterías de litio tienen menos pérdidas de carga y poseen un ciclo de vida más largo, los fabricantes ofrecen garantías de 8 años en adelante, y se espera alcanzar una vida útil de 15 años con los avances tecnológicos. El futuro de los vehículos eléctricos está ligado a los avances en baterías, fue mediante la emergencia de las baterías de litio que se han vuelto competitivos contra la autonomía de los vehículos convencionales a combustión (López, Galarza 2016).

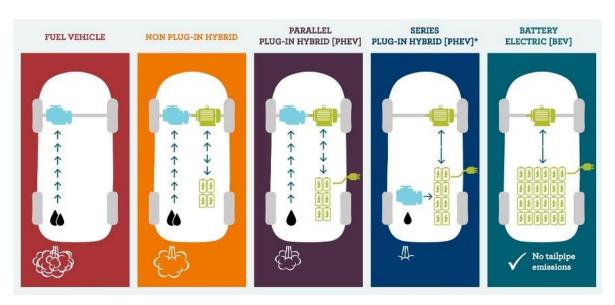


Figura 1. Tipos de propulsión (EZ Electric Car Guide)

Los vehículos eléctricos también cuentan con la tecnología de frenado regenerativo, que permite recuperar parte de la energía cinética emitida en el frenado y almacenarla en las baterías, aumentando su autonomía y su eficiencia. Al mismo tiempo, al detenerse con el vehículo encendido este no consume energía, a diferencia de los autos a combustión. Estas características otorgan una gran ventaja a los eléctricos en circuitos urbanos donde las frenadas son frecuentes.

En cuanto a los buses eléctricos autónomos (sin conexión a catenarias o rieles), al igual que los vehículos livianos existen de los dos tipos, híbridos y puros, el otro tipo de buses eléctricos corresponde a los conectados a rieles y catenarias como los trolebuses. Los buses eléctricos puros utilizan en general las mismas tecnologías que los autos livianos, pero adaptadas a un peso total cercano a las 13 toneladas en el caso de un bus de 12 metros, como lo son los modelos incluidos en este estudio. Compiten dos soluciones tecnológicas para el mercado de buses autónomos, los que cuentan con un gran banco de baterías y los que cuentan con un banco de baterías acotado. típicamente de litio-ferro fosfato (LFP) que les permite operar durante un día de trabajo sin necesidad de recarga, la cual se realiza durante la noche a través de un sistema de estaciones de carga estacionaria. Este sistema es el más utilizado en el mercado mundial, principalmente en China que cuenta con las mayores flotas circulando principalmente de las marcas BYD y YUTONG, estos buses cuentan con un gran banco de baterías, a pesar de ello, son utilizados en los recorridos cortos para asegurar el servicio. Mientras que, la otra tecnología consiste en buses con un banco de baterías acotado, típicamente de litio y titanio (LTO), que se recargan varias veces al día con un sistema de carga de oportunidad o en ruta. Este último sistema es poco conocido y no ha tenido penetración en los sistemas de transporte, en el caso de estudio es el que mejor se acopla, debido a que el recorrido es corto, las velocidades son bajas y cuenta con muchas paradas favoreciendo la carga por frenado regenerativo y las cargas de oportunidad (López, Galarza 2016).

Según el Informe de Movilidad Eléctrica llevado a cabo por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la movilidad eléctrica presenta grandes oportunidades en el futuro para el transporte urbano, tanto de pasajeros como de mercancías en circuitos de cortas distancias. A

partir de esta visión, en Europa se ha publicado una Directiva de Despliegue de Infraestructura para Combustibles alternativos y Políticas de Promoción, solicitando a los países miembros de la Comisión Europea la planificación para el desarrollo de infraestructura principalmente para recarga de vehículos eléctricos, y también expendio de gas natural comprimido (GNC) y gas natural licuado GNL que se presentan como oportunidad para el transporte a grandes distancias. Algunos países europeos son pioneros en el desarrollo de políticas a fines de reducir las emisiones de CO₂ por transporte, las mismas cuentan con estándares de restricción de emisiones, normas de eficiencia energética para el mercado automotriz, lo que hace que los fabricantes busquen producir automóviles con mejores rendimientos y combustibles menos contaminantes lo que genera mejores oportunidades para los vehículos eléctricos de competir en el mercado. Además, los avances tecnológicos de las baterías permiten una reducción constante de los costos, la utilización de materiales y el aumento de las capacidades lo que fomentaría aún más el crecimiento y la penetración de estas tecnologías. Algunos países de la Unión Europea como Holanda, Noruega y Dinamarca destacan en políticas de promoción para la movilidad eléctrica destinada especialmente a los consumidores, otorgando fuertes estímulos a través de incentivos tributarios, bonos y beneficios a los propietarios como el estacionamiento gratis o la circulación exclusiva. Por otro lado, Irlanda e Israel prohibirán bajo efecto de ley la venta de vehículos a combustible a partir del año 2030, y, otros países, como Francia y Alemania lo harán a partir del 2040. Se espera, en Europa en un futuro cercano un rápido crecimiento de los vehículos impulsados por motores eléctricos a baterías, la Unión Europea pretende alcanzar un 4% del total de la flota circulante de vehículos eléctricos a batería (VEB) para el 2040 y un 9% para el 2050. En cambio, China ha aplicado fuertes incentivos a los fabricantes de vehículos principalmente a los fabricantes de buses eléctricos, que pueden recibir hasta 84.866 Euros por cada unidad producida y hasta 7.779 Euros por cada auto eléctrico producido. Estas políticas fueron susceptibles a fraudes en las declaraciones de vehículos eléctricos y el gobierno chino en el año 2016 optó por la reducción de los subsidios en un 32% para los buses eléctricos (López, Galarza 2016).

2.1.1 Mercado de buses eléctricos

Según datos publicados por la GEVO 2018 se puede observar que China concentra la mayoría de las ventas mundiales de autobuses eléctricos, que incluye buses a batería e híbridos plug in, que a pesar de un ligero descenso en las ventas en el año 2017 se estima que fueron ligeramente superiores a las 100 000 unidades, de las cuales el 85% fue de vehículos eléctricos puros. A finales de 2017, la flota de autobuses eléctricos puros e híbridos en China alcanzó casi 370.000 unidades. Ventas acumuladas disponibles para otros países sugieren que 2100 autobuses eléctricos adicionales están actualmente en circulación en Europa, Japón y los Estados Unidos. Además, en el año 2017 en todo el mundo se encontraban en circulación 250 autobuses impulsados por celdas de combustible. Fuera de China, las ciudades del mundo aún no han realizado grandes inversiones en autobuses eléctricos (Shenzhen, Beijing y Tianjin son las ciudades con mayor inversión). Sin embargo, algunas ciudades europeas y norteamericanas, miembros de la red C40, de ciudades comprometidas con el medio ambiente y la mitigación del cambio climático, también han comenzado a implementar autobuses eléctricos o se han comprometido a comprar vehículos eléctricos sólo para reemplazos y mejoras en el corto plazo de la flota pública. Las ciudades nórdicas, como Oslo, Trondheim y Gotemburgo, operan

autobuses eléctricos; en Gotemburgo se lanzaron en junio de 2015 tres autobuses eléctricos Volvo. Oslo tiene como objetivo hacer la transición a una flota totalmente eléctrica en el período 2025-30. En la C40 del año 2015, 12 alcaldes que representan a ciudades en los cinco continentes, se comprometieron en el año 2017 que a 2025, sólo se sumarían autobuses eléctricos a sus flotas municipales. Un puñado de ciudades europeas ya han ampliado las operaciones más allá de la demostración a escala comercial, donde se encuentran funcionamiento regularmente una gran flota de autobuses eléctricos. Las ambiciones también se extienden a nivel nacional: un ejemplo es el objetivo de Países Bajos para la transición a todas las ventas de autobuses libre de emisiones en 2025 y una flota de todos eléctricos en 2030. Suecia ha mantenido una política de apoyo para autobuses eléctricos desde 2016 (GEVO, 2018).

La mayoría de los autobuses eléctricos vendidos hasta la fecha se han realizado por fabricantes chinos para el mercado interno. Aunque los dos fabricantes principales chinos (BYD y Yutong) también han sido activos en el mercado internacional de autobuses eléctricos. Ambas empresas producen autobuses urbanos eléctricos en una variedad de tamaños, y cada uno hace un modelo de autobús eléctrico interurbano. El más vendido fue el BYD de 12 metros urbano que tiene una capacidad de batería de alrededor de 330 kWh que le permite recorrer más de 250 km (BYD, 2018) y diferentes configuraciones están disponibles (Grutter, 2014).

En Europa hay una gran variedad de fabricantes de autobuses eléctricos, como Volvo, Solaris y VDL. La diversidad de fabricantes de autobuses se traduce en una gran variedad de modelos disponibles en el mercado europeo, por ejemplo, algunas de ellas utilizando aluminio para la reducción del peso del vehículo, o reduciendo los tamaños del paquete de baterías. En los Estados Unidos, el protagonista es Proterra, fundado por un ex empleado de Tesla que se especializa exclusivamente en autobuses eléctricos. Proterra fabrica componentes del cuerpo del autobús utilizando fibra de carbono y puede entregar autobuses con hasta 440 kWh de capacidad de la batería, que equivale a 480 kilómetros de rango (Grutter, 2014).

En Latinoamérica BYD ya ha vendido varias flotas en Uruguay, Brasil, Ecuador, Colombia y Chile. Chile desde marzo del 2019 ha sumado 100 buses Yutong E12 a su flota de buses eléctricos, la cual ya contaba con 100 buses BYD K9 y uno Yutong E12 de prueba. Colocando a Chile entre los países con la flota más grande de buses eléctricos para transporte público en el mundo y la más grande de Latinoamérica. Además, la ciudad colombiana de Medellín incorporó 64 buses de la empresa BYD, dando los primeros pasos en Latinoamérica hacia una movilidad de emisiones cero (Grutter, 2014).

En Argentina la empresa BYD se encuentra en negociaciones para abrir una ensambladora, y la provincia de Mendoza adjudicó una licitación para importar 12 buses BYD y 6 estaciones de carga en conjunto con Zhongtong que aportaría 6 buses y 3 estaciones de carga. A principios de marzo de 2019 están haciendo recorridos experimentales dos colectivos en la línea Mendoza- Godoy Cruz. En mayo, luego una postergación de un año, Buenos Aires evaluará el funcionamiento de 8 colectivos eléctricos de cuatro fabricantes diferentes, 4 de ellos con baterías de carga rápida y 4 baterías de carga lenta. Las empresas son Zhongtong, Yutong, Higer, Xiamen King Long, todas procedentes de china, y los modelos que han presentado son todos de 12 m de largo.

Tabla 1. Precios de buses en USD del mercado internacional.

Mercado	Diésel convencional	Eléctrico	Costo adicional eléctrico
China	\$60,000-\$90,000	\$280,000-\$350,000	420%
India	\$75,000-\$110,000	\$325,000-\$410,000	300%
Rusia	\$130,000-\$180,000	\$400,000-\$500,000	190%
América Latina	\$200,000-\$225,000	\$410,000-\$500,000	115%
Resto del Mundo	\$100,000-\$350,000	\$300,000-\$700,000	120%
Europa	\$250,000-\$350,000	\$575,000-\$680,000	110%
Norte América	\$300,000-\$400,000	\$595,000-\$690,000	85%
Promedio	\$200,000	\$480,000	140%

En la tabla anterior, podemos observar los precios en distintos mercados de buses eléctricos y diésel. Cabe destacar que, por ejemplo, un bus BYD chino puede valer más del doble fuera de su país de origen (Grutter, 2014).

2.1.2 Tranvía y trolebús

El Tranvía es un sistema de transporte ferroviario de pasajeros inserto en las redes urbanas que comparte el espacio vial y su infraestructura con flujos de otros tipos de vehículos. Mejores perspectivas proporcionan Furmaniak y Schumann (2010) que con mayor enfoque técnico explican que los tranvías sirven en gran parte como circuladores urbanos que conectan vecindarios y centros de actividad con líneas de 2 a 5 millas de largo (3,23 a 8,05 kilómetros respectivamente) y tienen paradas a menos de media milla de distancia (800 metros aproximadamente entre paradas). Estos sistemas sirven para viajes más cortos y concurridos, como el caso de este estudio. Además, proporcionan importantes beneficios al ambiente, entre los que se encuentran la no emisión de sustancias contaminantes, niveles bajos de ruido, menor consumo de energía, mejor calidad urbana ambiental, y la regeneración urbana y del paisaje. Los sistemas de transporte compuestos por tranvías aumentan la movilidad en sus áreas de influencia, lo que se traduce en una mayor accesibilidad al medio físico y al transporte, así como a servicios sociales y los lugares en los cuales los ciudadanos desarrollan sus actividades de empleo, estudio, cultura y esparcimiento.

En cuanto a los costos de este sistema, el costo de capital generalmente es muy elevado debido a la necesidad de la infraestructura, ya que, requiere el trazado de las vías, la electrificación, el coste del vehículo, etc. Los valores estimados van de 10 millones a 25 millones de USD por km trazado incluyendo la maquinaria, dependiendo de la topografía del lugar y las características del recorrido. En cuanto a los costos de operación, en comparación con los autobuses eléctricos tienen ligeramente un menor consumo por km por persona debido a que son más eficientes, no requieren baterías y transportan considerablemente mayor cantidad de usuarios. Otra de las ventajas con respecto a los autobuses que su vida útil es de 30 años, en cambio, la vida útil promedio de las baterías de un bus eléctrico es de 8 años con un 80% de capacidad.



Figura 2. Ejemplo tranvía de Murcia en la avenida Juan Carlos I.

En cuanto al trolebús, consiste en un bus eléctrico similar a los convencionales y eléctricos, pero este sin baterías, está conectado a un sistema de catenarias similar al del tranvía, asociados a la tecnología de supercapacitores. Éstos pueden permitirse pequeñas desconexiones del sistema eléctrico en rotondas o lugares que la red de catenarias no puede cubrir. Es una opción de transporte que se está utilizando en argentina en Córdoba, Rosario y Mendoza hace muchos años, algunos de ellos fabricados en el país, y otros en su mayoría son importados.

En cuanto a los costos del sistema, el trolebús en comparación con el bus a baterías es mucho menor, ya que la batería es la parte más considerable del valor del bus. Por otra parte, el trazado de la catenaria más el costo de las subestaciones de energía necesarias para la electrificación son considerables.

En cuanto a las ventajas de este tipo de transporte, al igual que los buses eléctricos a batería, estos al ser impulsados por motores eléctricos son más eficientes que los buses convencionales diésel, además, no tienen emisiones de gases directas al ambiente ya que no utilizan ningún combustible. En comparación con los buses a batería, estos tienen un peso menor, ya que el pack de baterías dependiendo de la capacidad y el tipo de baterías a usar puede variar de manera significativa el peso del bus, al reducir el peso se reduce el consumo por lo que son un poco más eficientes que los buses a batería.

En cuanto a las desventajas, si el bus se separa de la catenaria y no cuenta con un sistema de respaldo este se detendrá en su funcionamiento, están limitados al trazado de la catenaria, al mismo tiempo son dependientes de la red eléctrica de la ciudad y si algo ocurre con la misma el transporte quedaría paralizado. En comparación con el tranvía los neumáticos convencionales del trolebús producen mayor resistencia que las ruedas metálicas sobre las vías, por lo que, a un transporte de igual peso el tranvía tendría un consumo menor.

2.2 BATERÍAS

El siguiente apartado está basado en información obtenida de Battery University 2019.

Una batería eléctrica, es un artefacto compuesto por celdas electroquímicas capaces de convertir la energía química en su interior en energía eléctrica. El principio fundamental de una batería consiste en las reacciones de oxidación-reducción (redox) de ciertas sustancias químicas, una de las cuales pierde electrones (se oxida) mientras la otra gana (se reduce), pudiendo retornar a su configuración inicial dadas las condiciones necesarias: la inyección de electricidad (carga) o el cierre del circuito (descarga). Las baterías contienen celdas químicas que presentan un polo positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo), así como electrolitos que permiten el flujo eléctrico hacia el exterior. Dichas celdas convierten la energía química en eléctrica. En eso se distinguen dos tipos de celdas: las primarias, las cuales, una vez producida la reacción, no pueden volver a su estado original, agotando así su capacidad de almacenar corriente eléctrica; y secundarias, que pueden recibir una inyección de energía eléctrica para restaurar su composición química original, pudiendo así ser empleadas numerosas veces antes de agotarse del todo. En el caso de estudio se basará en el tipo secundarias.

SI bien, existen múltiples combinaciones químicas las más comunes son: plomo ácido, níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico, ion-litio, aire-zinc, entre otras. Durante más de un siglo, las baterías de **plomo-ácido** han sido las más utilizadas y las comercialmente más exitosas debido a ser una tecnología madura, de bajo coste y de rápida disponibilidad. Puede ser desglosado en 3 categorías:

- Arranque, iluminación y encendido (SLI, Starting, Lighting and Ignition Batteries):
 Frecuentes en el mundo de la automoción. Económicas. Proveen un buen nivel de corriente a bajo coste. Ciclo de vida corto.
- De ciclo profundo o de tracción: diseñadas para aplicaciones donde tengan lugar descargas profundas.
- Estacionarias: generalmente se utilizan para suministrar energía en operaciones de control, así como proveer de energía de emergencia en subestaciones y sistemas de telecomunicaciones. Larga vida útil. Bajo mantenimiento.

Tabla 2. Baterías de plomo ácido

Tipo de celda	SLI	Ciclo Profundo	Estacionaria
Tensión nominal (v _{dc})	2	2	2
Tensión en circuito	1,90 ~ 2,15	1,90 ~ 2,15	1,90 ~ 2,15
abierto (v _{dc})			
Tensión final de la	2,5	2,5	2,5
carga (v _{dc})			
Tensión final de la	1,75	1,75	1,75
descarga (v _{dc})			
Eficiencia (dc-a-dc)	75% ~ 85%	75% ~ 85%	75% ~ 85%
Temperatura de	-40 ~ 55 °C	-20 ~ 40 °C	-10 ~ 40 °C
trabajo			
Energía específica	35 Wh/kg	25 Wh/kg	10 ~ 20 Wh/kg
Densidad de potencia	Alta	Moderadamente alta	Moderadamente alta
Ciclos	200-700	1500	-

El uso de este tipo de baterías tiene como ventaja su bajo costo, rápida disponibilidad en cuanto a tamaños y diseños, se comportan moderadamente bien a altas y bajas temperaturas, las celdas poseen voltaje elevado en comparación con otros tipos y sus componentes son fácilmente reciclables. Como desventaja poseen baja energía específica, baja potencia específica, los ciclos de vida son relativamente cortos, requieren elevado mantenimiento y potencialmente pueden ser peligrosas para el ambiente debido al plomo y al ácido sulfúrico si no se realizan buenas prácticas de reciclaje y deposición final. Este tipo de baterías no se adapta a los vehículos eléctricos debido a que poseen baja energía específica y una vida útil muy corta.

Las baterías de litio están formadas por celdas que utilizan compuestos con inserciones de litio como electrodos positivo y negativo. Durante las cargas y descargas los iones de litio Li+ circulan entre los electrodos. Este tipo de baterías posee una alta densidad energética, lo que se traduce en mayor capacidad para menor peso, dando como resultado un uso popularizado en dispositivos portátiles electrónicos como smartphones, tablets, computadoras portátiles, control remoto, drones, entre otros.

Las baterías de lon-Litio tienen como característica un bajo mantenimiento, una ventaja que la mayoría de las otras químicas no pueden reclamar. La batería no tiene memoria y no necesita hacer ejercicio (descarga completa deliberada) para mantenerla en buen estado. La autodescarga es muy baja. El voltaje de celda nominal de 3.60V puede alimentar directamente teléfonos móviles, tabletas y cámaras digitales, ofreciendo simplificaciones y reducciones de costos sobre diseños de celdas múltiples. Los inconvenientes son la necesidad de circuitos de protección para evitar abusos, así como el alto precio.

El ion de litio utiliza un cátodo (electrodo positivo), un ánodo (electrodo negativo) y un electrolito como conductor. El cátodo es óxido de metal y el ánodo consiste en carbono poroso. Durante la descarga, los iones fluyen desde el ánodo al cátodo a través del electrolito y el separador; la carga invierte la dirección y los iones fluyen del cátodo al ánodo.

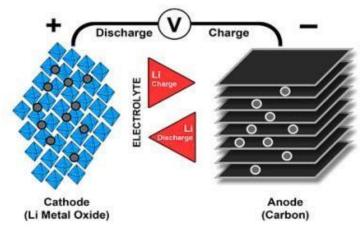


Figura 3. Flujo de iones en la batería de litio

Las baterías de iones de litio vienen en muchas variedades, pero todas tienen una cosa en común: la palabra clave "ion de litio". Aunque sorprendentemente similares a primera vista, estas baterías varían en rendimiento y la elección de materiales activos les da personalidades únicas. Los fabricantes pueden lograr una energía específica alta y un costo relativamente bajo al agregar níquel en lugar del cobalto más caro, pero esto hace que la célula sea menos estable.

Por ejemplo, el óxido de litio y cobalto, uno de los iones de litio más comunes, tiene los símbolos químicos LiCoO2 y la abreviatura **LCO**. Por razones de simplicidad, la forma corta Li-cobalto también se puede utilizar para esta batería. El cobalto es el principal material activo que le da carácter a esta batería. Otras químicas de iones de litio reciben nombres de forma abreviada similares

Las baterías LCO debido a su alta energía específica es la opción popular para teléfonos móviles, computadoras portátiles y cámaras digitales. La batería consta de un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de grafito y carbono. El cátodo tiene una estructura en capas y durante la descarga, los iones de litio se mueven del ánodo al cátodo. El flujo se invierte con la carga.

El inconveniente del Li-cobalto es una vida útil relativamente corta, baja estabilidad térmica y capacidades de carga limitadas (potencia específica). Al igual que otros iones de litio mezclados con cobalto, el Li-cobalto tiene un ánodo de grafito que limita la vida útil del ciclo al cambiar la interfaz de electrolitos sólidos, espesándose en el ánodo y el revestimiento de litio mientras se carga y carga rápidamente a baja temperatura. Los sistemas más nuevos incluyen níquel, manganeso y / o aluminio para mejorar la longevidad, las capacidades de carga y el costo.

Tabla 3. Características baterías LCO

Voltaje	3.60V nominal; rango típico de operación 3.0-4.2V/celda
Energía específica	150–200 Wh/kg.
Carga (C-ratio)	0.7–1C, carga a 4.20V (mayoría de las celdas). La corriente de carga por encima de 1C acorta la duración de la batería.
Descarga(C-ratio)	1C; 2.50V. La corriente de descarga por encima de 1C acorta la duración de la batería.
Ciclo de vida	500–1000, depende de la profundidad de descarga, carga, temperatura de trabajo
Escape Térmico	150°C (302°F). Carga completa promueve la fuga térmica
Aplicaciones	Smartphones, tablets, computadoras portátiles, cámaras

En 1996, Moli Energy comercializó una célula de Li-ion con óxido de litio y manganeso como material de cátodo. La arquitectura forma una estructura de espinela tridimensional que mejora el flujo de iones en el electrodo, que se convierte en una menor resistencia interna (permite carga rápida y descarga a alta corriente) y mejor manejo de la corriente. Pero, una alta carga continua a una corriente de unos 50 A, causaría acumulación de calor y la temperatura de la celda no puede superar los 80°C.

También presenta una alta estabilidad térmica y mayor seguridad, pero la vida útil del ciclo y del calendario son limitadas.

Aunque las baterías **LMO** (Li-manganeso) puras no son comunes hoy en día, se utilizan para aplicaciones especiales como herramientas eléctricas, instrumentos médicos, así como para vehículos híbridos y eléctricos. La mayoría de las baterías de Li-manganeso se mezclan con óxido de cobalto y litio-níquel manganeso (NMC) para mejorar la energía específica y prolongar la vida útil. La mezcla NMC y LMO se elige para la mayoría de los vehículos eléctricos como son Nissan leaf, Chevy Volt y BMW i3. La parte LMO (30% del total) proporciona un gran aumento de la aceleración de corriente y la parte NMC da el largo rango de conducción.

Tabla 4. Características baterías LMO

Tensiones	3.7V (3.8V nominales); rango típico de funcionamiento 3.0—
	4.2V/celda
Energía específica	100—150 Wh/kg
Carga (C—ratio)	Típico de 0.7—1C, máximo 3C, carga a 4.2V
Descarga (C—ratio)	1C;10C posible con algunas celdas, 30C pulso (5s), con una tensión
	de corte de 2.5V
Ciclo de vida	300—700
Escapes térmicos	250°C típicamente. Alta carga promueve la fuga
Aplicaciones	Herramientas eléctricas, dispositivos médicos, motores eléctricos
Observaciones	Alta potencia, pero menos capacidad, más seguro que el Li-cobalto;
	normalmente se mezcla con NMC para mejorar el rendimiento.

La batería **NMC**(LiNiMnAlO2) es uno de los sistemas de iones de litio más exitosos debido a la combinación níquel-manganeso-cobalto (NMC) en el cátodo. Esos sistemas se pueden adaptar como células de energía o células de potencia como el Li-manganeso. El NMC es la batería de elección para herramientas eléctricas, bicicletas eléctricas y motores eléctricos. La combinación en el cátodo de estos materiales suele ser de 1/3 de cada parte, ya que así se reduce el costo de la materia prima (cobalto), aunque hay diversas combinaciones posibles. Los fabricantes de este tipo de baterías se alejan de los sistemas de cobalto hacia cátodos de níquel debido al alto coste del cobalto, la tendencia llega a combinaciones 8-1-1. Estos sistemas tienen una mayor densidad de energía, menor coste y vida útil más larga que las células basadas en cobalto, aunque tienen un voltaje menor. El níquel es conocido por su alta energía específica pero poca estabilidad; el manganeso tiene la ventaja de tener una baja resistencia interna pero una baja energía específica, al combinarlos se logra mejorar mutuamente las fortalezas de los metales. El voltaje nominal de una celda es de 3,7 V por lo que ofrece una mayor densidad energética que las demás opciones evaluadas. Las grandes cargas causan elevaciones de temperatura peligrosas para la batería.

Tabla 5. Características baterías NMC

Tensiones	3.6V, 3.7V nominales, rango típico de funcionamiento 3.0—4.2V/celda
Energía específica	150—220 Wh/kg
Carga (C—ratio)	0.7—1C a 4.2V, algunos a 4.3V y un tiempo de carga típico de 3h. La corriente de carga por encima de 1C acorta la vida de la batería.
Descarga (C—ratio)	1C;2C posible en algunas células, con una tensión de corte de 2.5V
Ciclo de vida	1000—2000
Escapes térmicos	210°C típicamente. Alta carga promueve la fuga
Aplicaciones	E-bikes, dispositivos médicos, vehículos eléctricos, motores eléctricos industriales
Observaciones	Proporciona alta capacidad y alta potencia. Sirve como célula hibrida y la cuota del mercado está aumentando

Las baterías **LFP**- Litio hierro fosfato (LiFePO4) ofrecen un buen rendimiento electroquímico con baja resistencia. Esto es posible con material de cátodo de fosfato a nanoescala. Los beneficios clave son un alto índice de corriente y una larga vida útil, además de una buena estabilidad térmica y mayor seguridad. Es más tolerante a las condiciones de cargas completas y se estresa menos al estar expuestas a altos voltajes por un tiempo prolongado en comparación con otras composiciones de iones de litio. Posee un voltaje nominal de 3,2V por lo que la energía específica se encuentra por debajo de las baterías NMC. En cuanto a las resistencias térmica, las bajas temperaturas afectan el rendimiento, mientras que las altas reducen la vida útil de la misma. Es una batería muy segura incluso cuando se encuentra completamente cargada.

Tabla 6. Características baterías LFP

Tensiones	3.2V, 3.3V nominales rango típico de funcionamiento 2.565V/celda
Energía específica	90—120 Wh/kg
Carga (C—ratio)	1C, carga a 3.65V y un tiempo de carga típico de 3h.
Descarga (C—ratio)	1C;25C posible en algunas células; Pulso de 40A (2s), con una tensión
	de corte de 2.5V(más bajo de 2V causa daño)
Ciclo de vida	1000—2000
Escapes térmicos	270°C Batería muy segura incluso si está completamente cargada
Aplicaciones	Vehículos eléctricos pequeños, barcos de pequeño tamaño, carritos de
	golf, células fotovoltaicas, ordenadores portátiles, UPS
Observaciones	Proporciona alta capacidad y alta potencia. Sirve como célula híbrida y la
	cuota del mercado está aumentando,

La batería de óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio, o **NCA**, existe desde 1999 para aplicaciones especiales. Comparte similitudes con NMC al ofrecer una alta energía específica y una potencia específica razonablemente buena. Menos halagadores son la seguridad y el costo. NCA es

un desarrollo adicional de óxido de litio y níquel; Agregar aluminio le da a la química una mayor estabilidad.

Tabla 7. Características baterías NCA

Tensiones	3.6V, rango típico de funcionamiento 3.0—4.2V/celda
Energía específica	200—260 Wh/kg; 300 Wh/kg predecible
Carga (C—ratio)	0.7C, carga a 4.2V, 3h de carga típica, posible carga rápida con
	algunas celdas
Descarga (C—ratio)	1C típico; Corte de 3V; alta tara de descarga acorta la vida
Ciclo de vida	500
Escapes térmicos	150°C típico, alta carga promueve la fuga
Aplicaciones	Dispositivos médicos, industrial, propulsión eléctrica (Tesla)
Observaciones	Comparte similitudes con el Li-cobalto. Sirve como célula de energía

En cuanto a las baterías **LTO** - Titanato de Litio (Li2TiO3) se conocen desde la década de 1980. El titanato de litio reemplaza al grafito en el ánodo de una batería típica de iones de litio y el material se forma en una estructura de espinela. El titanato de litio tiene un voltaje de celda nominal de 2,40 V. Esta puede cargarse rápidamente y ofrece una alta corriente de descarga de 10C, o 10 veces la capacidad nominal. Además, este tipo de baterías posee una cantidad de ciclos considerablemente mayor que las demás alternativas de litio. El titanato de litio es seguro, tiene excelentes características de descarga a baja temperatura y obtiene una capacidad del 80 por ciento a –30 ° C. La batería LTO tiene ventajas sobre el ion de litio mezclado con cobalto convencional con ánodo de grafito al lograr una propiedad de deformación cero, sin recubrimiento de litio cuando se carga rápidamente a baja temperatura. La estabilidad térmica a alta temperatura también es mejor que otros sistemas de iones de litio; Sin embargo, la batería es cara. Con solo 80 Wh / kg en el mejor de los casos, la densidad energética es baja comparado con las alternativas estudiadas.

Tabla 8. Características baterías LTO

Tensiones	Nominal de 2.4V, rango típico de funcionamiento 1.8—2.85V/celda					
Energía específica	50—80 Wh/kg					
Carga (C—ratio)	1C típico, Máximo 5C, carga a 2.85V					
Descarga (C—ratio)	10C posible, 30C 5s pulso; Corte de 1.8V en LCO/LTO					
Ciclo de vida	3000—7000					
Escapes térmicos	Una de las baterías de ion de litio más seguras					
Aplicaciones	UPS, tren de potencia eléctrico (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV),					
	alumbrado público con energía solar					
Observaciones	Larga vida útil, carga rápida, amplio rango de temperatura, pero baja					
	energía específica y costosa. Entre las baterías de ion-litio más seguras.					

La evaluación de la vida útil de la batería en los ciclos de conteo no es concluyente porque una descarga puede variar en profundidad y no hay estándares claramente definidos de lo que constituye un ciclo. En lugar del recuento de ciclos, algunos fabricantes de dispositivos sugieren el reemplazo de la batería en un sello de fecha, pero este método no tiene en cuenta el uso. Una batería puede fallar dentro del tiempo asignado debido al uso intensivo o condiciones de temperatura desfavorables; sin embargo, la mayoría de los paquetes duran mucho más de lo que indica el sello. El rendimiento de una batería se mide en capacidad, un indicador de salud líder. La resistencia interna y la autodescarga también juegan un papel, pero son menos importantes para predecir el final de la vida útil de la batería con el ion de litio moderno.

Similar a un dispositivo mecánico que se desgasta más rápido con un uso intensivo, la profundidad de descarga determina el recuento de ciclos de la batería. Cuanto menor sea la descarga, más durará la batería. Para un funcionamiento óptimo, se debe evitar las descargas completas y realizar la carga de la batería con mayor frecuencia entre usos. La descarga parcial de iones de litio está bien. No hay memoria y la batería no necesita ciclos periódicos de descarga completa para prolongar la vida útil.

Las condiciones ambientales, además del ciclo, gobiernan la longevidad de las baterías de iones de litio. La peor situación es mantener una batería completamente cargada a temperaturas elevadas. Las baterías no mueren repentinamente, pero el tiempo de ejecución se acorta gradualmente a medida que la capacidad se desvanece. Los voltajes de carga más bajos prolongan la vida útil de la batería y los vehículos se aprovechan de esto.

Solo un ciclo completo proporciona la energía especificada de una batería. El rango medio de 85-25% que prolonga la vida reduce la energía disponible al 60% esto equivale a moderar la densidad de energía específica. Los dispositivos industriales, como el VE, generalmente limitan la carga al 85% y la descarga al 25%, o 60% de uso de energía, para prolongar la vida útil de la batería

A medida que las baterías de los vehículos eléctricos cumplen con su vida útil, estas van perdiendo capacidad, pero, aunque pierda capacidad no significa que estas dejen de usarse o de ser funcionales. Una vez que la batería pierde alrededor de un 20% de su capacidad es cuando cumple su primer uso, con este ciclo completado se puede repensar el segundo uso de la batería antes de su reciclaje, en el caso de los vehículos eléctricos estos necesitan la máxima capacidad posible debido a que limita su autonomía, por lo que, numerosas empresas piensan en este segundo uso para almacenamiento estacionario de energía eléctrica conectado en la red en los cuales el espacio y el peso no es una limitante, y pueden usarse baterías de menor rendimiento. Este segundo uso de baterías para almacenar energía de la red a largo plazo tendrá gran penetración debido al aumento de vehículos eléctricos que se prevé en el futuro. Además, se fortalece la red eléctrica al contar con almacenamiento a gran escala y posee una sinergia con las energías renovables ya que estas son intermitentes y la energía no está disponible siempre que se la necesita por lo que fortalecerá su desarrollo. Una ventaja a futuro con el incremento de la penetración de las energías renovables previsto es que ante la disponibilidad de energía proveniente de dichas fuentes en horarios de valle esta puede ser almacenada en las baterías. A modo de complemento, la energía almacenada puede ser usada por la red eléctrica en horarios de elevados consumos evitando que ingrese una central térmica de pico, la

cual consume combustible fósil y requiere tiempo para ponerse en línea con la red, permitiendo un ahorro económico y ambiental.

Una vez concluido el segundo uso y que la batería pierda aproximadamente el 40% de su capacidad, puede pensarse en el reciclaje de materiales. Las baterías de litio, utilizan variedad de metales además del litio. Éstos son valiosos y reciclables como ser el cobalto, el grafito, el níquel, plomo, entre otros. Se espera que el crecimiento de la industria de baterías crezca a gran escala debido a la transición global a la electrificación, por lo que algunas empresas ya están comenzando a trabajar en el reciclaje de las mismas, como la empresa canadiense Li-Cycle fundada en 2015, que posee una tecnología de procesamiento de circuito cerrado, económicamente viable, segura, sostenible y escalable que proporciona una solución al problema global de reciclaje de baterías de iones de litio. La tecnología recupera entre el 80 y el 100% de todos los materiales que se encuentran en las baterías de iones de litio.

Los **supercapacitores** son dispositivos electroquímicos capaces de sustentar una alta densidad de potencia. Estos no requieren un dieléctrico, pueden fabricarse de cualquier tamaño, desde una estampilla, ideal para celulares, hasta grandes tamaños ideales para vehículos eléctricos. Estos dispositivos funcionan polarizando una solución electrolítica, lo que permite el almacenamiento de energía eléctrica de forma estática. Cabe destacar que a pesar de que se trata de un dispositivo electroquímico, en su interior no se producen reacciones químicas.

La industria de supercapacitores está muy revuelta en la actualidad y con grandes expectativas debido a los avances tecnológicos conseguidos por las empresas como Maxwell, Skeleton Technologies, Apowercap Technologies, entre otras. Se genera mucha incertidumbre ante la posibilidad de reemplazar en un futuro las pilas tradicionales por supercapacitores.

En cuanto a las diferencias con las pilas recargables son las siguientes:

- Los ciclos de carga se cuentan por millones sin perder rendimiento, siempre y cuando se respeten sus limitaciones técnicas.
- Se cargan muy rápidamente a diferencia de las baterías que dependen de las reacciones químicas.
- En cuanto al peso y tamaños son mucho más pequeños y livianos en cuanto al manejo de potencia.
- Los supercapacitores liberan y absorben energía muy rápidamente a diferencia de las baterías que la liberan de forma lenta y durante un periodo de tiempo prolongado. Esta característica los hace muy útiles para los vehículos eléctricos para arranques, superar obstáculos y para aprovechar mejor el sistema de freno regenerativo.

2.3 MATRIZ ENERGÉTICA

La matriz energética es una representación cuantitativa de la totalidad de energía que utiliza un país. Según los datos obtenidos del Balance Energético Nacional 2018 (BAN 2018) de la Secretaría de Energía de la Nación, Argentina al igual que la mayoría de los países del resto del mundo, la energía primaria consumida proviene principalmente de fuentes fósiles como lo son el petróleo, el gas natural

y el carbón mineral, pero a diferencia de las grandes potencias como China, Estados Unidos y Alemania que la fuente principal es el carbón mineral, Argentina tiene como ventaja desde el punto de vista ambiental la utilización de gas natural como fuente principal(Figura 4), ya que este produce menos emisiones que el carbón de origen fósil.

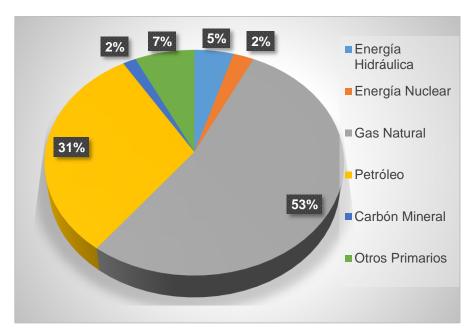


Figura 4. Energía primaria Argentina por fuente.

En cuanto a la energía secundaria, que son aquellas resultantes de las transformaciones de la energía primaria, según el BAN 2018, el transporte el cual es el caso en estudio consumió el 32 % del total de energía del país (Figura 5), siendo uno de los sectores que más ha aumentado en las últimas décadas debido a la expansión del parque automotor.

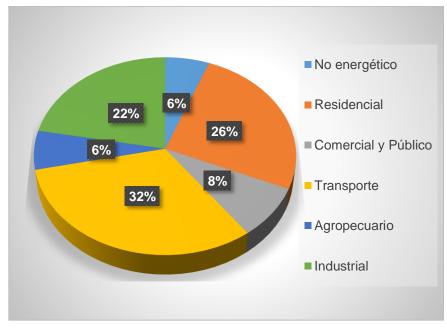


Figura 5. Energía secundaria por sector., Argentina 2018.

Como se puede observar en la Figura 6, obtenida del BAN 2018 la energía consumida por el transporte proviene principalmente de derivados del petróleo (79%), un 12 % de Gas Natural de red que utilizan los vehículos a GNC y un 9% de biocombustibles que se utilizan para el corte de las combustibles. Cabe destacar que en algunas ciudades como Buenos Aires que cuenta con líneas de Subte y trolebús, y otras como Córdoba, Rosario y Mendoza que cuentan con líneas de Trolebús, se consume energía eléctrica para el transporte, pero comparado con las demás fuentes esta no llega al 1% de la energía consumida total.

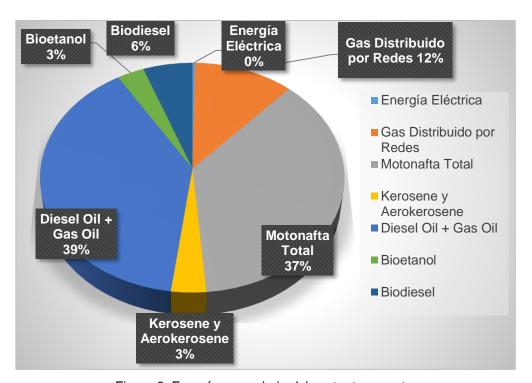


Figura 6. Energía secundaria del sector transporte.

Esta energía antes descripta fue consumida según el informe 2018 de la Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFA) por 14.084.326 vehículos que componen la flota circulante argentina y el total de buses circulando en el año 2018 fue de 84.486. En conjunto se tuvo en cuenta el informe 2018 de la Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), que establece que el 52% de la flota corresponde a vehículos a nafta, el 34,4% de vehículos a gasoil presentando este sector una disminución continuando con la tendencia de los últimos años, y el 13,6% de vehículos convertidos a GNC, los vehículos híbridos y eléctricos en el país todavía no llegan a las mil unidades. En cuanto a la edad promedio por sector según la AFAC: los automóviles y SUV se estima un promedio de edad de 10,5 años, la categoría livianos (que incluye comerciales, furgones y pickups) se estima una edad promedio de 12,9 años y en el sector de vehículos pesados y buses una edad promedio estimada de 15,1 años. En su totalidad el parque vehicular argentino tiene una edad promedio estimada de 11,6 años, siendo esto un indicador de mayores emisiones locales debido a la antigüedad de los vehículos.

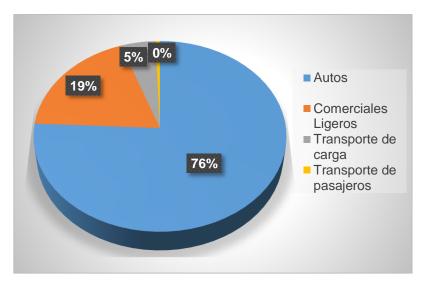


Figura 7. Flota vehicular Argentina ADEFA 2018.

Un factor a considerar cuando se debate sobre movilidad eléctrica, es la procedencia de la energía que van a utilizar los vehículos eléctricos, esta proviene de la red eléctrica interconectada que posee múltiples fuentes distribuidas a lo largo del territorio nacional. Según los datos obtenidos del BEN 2018, la matriz eléctrica nacional Argentina en ese año contó con una potencia instalada de 38.538 MW, un 6,6 % más que en el año 2017, el aumento más notorio fue de las renovables que creció en un 94,1% respecto al año 2017, pasó de 753 MW a 1462 MW, y la de mayor crecimiento en cuanto a potencia instalada fueron las centrales térmicas crecieron en un 7% respecto al año anterior, este grupo pasó de 22.896 MW a 24.531 MW.

En cuanto a la generación en el año 2018 según el BEN, se generaron 137.825 GWh. La principal fuente de generación fueron las centrales térmicas en un 63,8% a partir de combustibles fósiles, en segundo lugar, la generación hidráulica que participó en un 29,1% (esta incluye hidráulica no renovable). En menor escala, la generación nuclear aporto el 4,7% de la energía eléctrica, y las renovables que incluye biomasa, biodiesel, biogás, hidráulica renovable, solar y eólico participaron en un 2,4% de la generación de energía eléctrica en el año 2018.

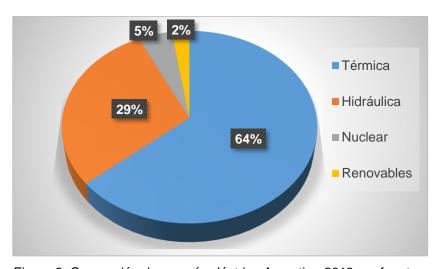


Figura 8. Generación de energía eléctrica Argentina 2018 por fuentes.

En cuanto a los combustibles utilizados por la generación térmica, en el año 2018 predominó la utilización de gas natural como se puede observar en la Figura 9. Esto, respecto al resto de los combustibles, tiene la ventaja de producir aproximadamente la mitad de dióxido de carbono y solamente la décima parte de los contaminantes del aire que el carbón cuando se quema para generar electricidad, y en nuestro país tiene un costo menor al del gasoil y el fuel oil.

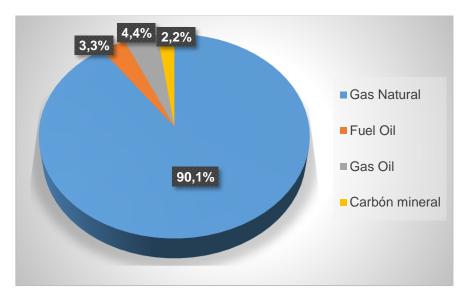


Figura 9. Combustible equivalente generación térmica. Argentina 2018.

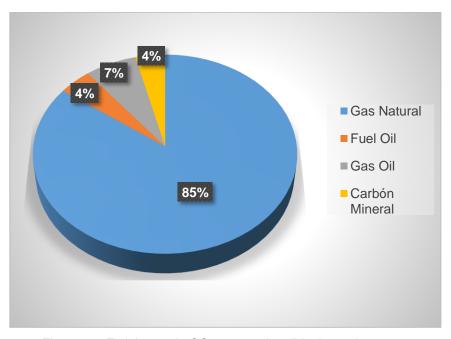


Figura 10. Emisiones de CO₂ por combustible Argentina 2018.

Si comparamos la Figura 9 y la figura 10 podemos observar la diferencia en las emisiones específicas de cada combustible y las ventajas que conlleva utilizar gas natural por sobre otras fuentes fósiles para la generación de energía.

De los informes anuales de la Secretaría de Energía de la Nación y de CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista Sociedad Anónima) y de la composición de la matriz energética antes descripta principalmente con generación a partir de combustibles fósiles (Fuel oíl, gas natural, gasoil y carbón mineral) podemos obtener el factor de emisión de CO₂ de las centrales térmicas de la red nacional. Se obtiene del BEN 2018 que el rendimiento promedio de las centrales térmicas es del 44% y el factor de emisión de CO₂ de la red nacional es de 0,466 kg de CO₂ eq/ kWh generado. Se utiliza para el cálculo el Método Simple de la metodología ACM0002 aprobada por la junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio que consiste en utilizar el promedio de las máquinas térmicas.

Tabla 9. Factor de emisión por combustible 2018

Gas Natural	Fuel Oil	Gasoil	Carbón	Fuente
1,936	3,127	3,186	2,441	Tercera C.N.A.
tCO ₂ /dam ³	tCO ₂ /t	tCO ₂ /t	tCO ₂ /t	reiceia C.N.A.

Tabla 10. Consumo de combustible 2018

Gas Natural	Fuel Oil	Gasoil	Carbón
dam ³	t	t	t
18.035.691	565.042	875.019	657.317

Tabla 11. Emisiones de CO₂ por combustible 2018

Gas Natural	Fuel Oil	Gasoil	Carbón	TOTAL
tCO ₂				
34.917.098	1.766.886	2.787.811	1.604.511	41.076.305

Tabla 12. Emisiones vs Generación 2018

	Gas natural	Fuel oil	Gasoil	Carbón mineral
Energía generada (MWh)	80.401.000	2.185.000	3.816.000	1.325.000
Tn CO ₂	34.917.098	1.766.886	2.787.811	1.604.511
Emisión especifica Tn CO ₂ /MWh	0,43	0,81	0,73	1,2

Tabla 13. Generación térmica 2018

Térmica	Importación	Total
MWh	MWh	MWh
87.727.000	343.500	88.070.500

De las tablas anteriores se obtiene el factor de emisión por generación térmica de la red nacional de **0,466** tCO₂/MWh. Si consideramos el total de la red eléctrica que incluye la generación renovable, la hidráulica y nuclear con un factor de emisión 0, el total nacional es de **0,3** tCO₂/MWh.

2.4 EMISIONES LOCALES

En cuanto a las emisiones locales de los vehículos circulando en Argentina con el objetivo de reducir la contaminación en las ciudades se adoptó a partir de enero del 2016 la normativa europea conocida por Euro V que establece los valores máximos permitidos por los vehículos. El valor de NO_x máximo permitido es de 3,6 gramos por kilómetro recorrido, de material particulado es de 0.036 gramos por kilómetro recorrido y de hidrocarburos sin quemar (HCT) de 0.828 gramos por kilómetro recorrido.

En la siguiente tabla podemos observar la evolución de la normativa europea para transporte público en la cual se basa la normativa argentina. Datos en gramos por kilómetro recorrido. Donde CO (Monóxido de Carbono), HCT (Hidrocarburos sin quemar), NO_x (Óxidos de nitrógeno) y MP (Material Particulado).

Tabla 14. Evolución de la normativa de emisiones europea. (EMBARQ 2016)

Norma	Fecha	СО	HCT	NO _x	MP
Euro I	1992	8,1	1,98	14,4	0,648
Euro II	1998	7,2	1,98	12,6	0,27
Euro III	2000	3,78	1,188	9	0,18
Euro IV	2005	2,7	0,828	6,3	0,036
Euro V	2008	2,7	0,828	3,6	0,036
EEV		2,7	0,45	3,6	0,036
Euro VI	2013	2,7	0,234	0,72	0,018

2.5 RADIACIÓN SOLAR

En cuanto a la radiación solar disponible para la generación fotovoltaica, según el Global Solar Atlas del Banco Mundial la radiación horizontal anual promedio para la ciudad de Villa María es de 16,2 MJ/m2 al día, que equivalen a 4,5 kWh generados por cada kWp instalado o a 4,5 horas solares equivalentes. Si bien, debido a la latitud de la ciudad que se encuentra a 32° Sur se puede obtener una mayor radiación solar promedio utilizando un ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos de 30° llegando a un promedio cercano a 5 horas solares equivalentes. Al elevar el ángulo de los paneles se obtiene mejores resultados anuales, ya que la altura solar varia de 81,5° en el solsticio de diciembre a 34,5 en el solsticio de junio.



Figura 11. Atlas Solar Global del Banco Mundial. Ciudad de Villa María, Córdoba.

2.6 MARCO LEGAL

2.6.3 Ley Nacional 27.424.

Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública.

La ley de generación distribuida es la que habilita a los consumidores de electricidad a generar energía para autoconsumo a partir de una fuente renovable, con la posibilidad de una eventual inyección de energía en la red.

Se distinguen 3 tipos de usuarios-generadores: pequeños (hasta 3 kW), medianos (desde 3 kW hasta 300 kW) y grandes (entre 300 kW y 2 MW).

Se establecen dentro de la ley los requisitos técnicos de conexión para el usuario, las obligaciones de las empresas distribuidoras, el uso de un medidor bidireccional, entre otros.

La ley establece que los agentes distribuidores del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) que son los encargados de prestar el servicio público de energía eléctrica, están obligados a comprar toda la energía proveniente de la inyección de excedentes de los usuarios-generadores. Además, son los responsables de declarar mensualmente ante el organismo encargado del despacho, los valores correspondientes a la energía eléctrica inyectada por los usuarios-generadores a la red de distribución provenientes de excedentes de energía generados por fuentes renovables.

En cuanto al precio de la energía, el distribuidor deberá hacer públicos dentro de sus correspondientes cuadros tarifarios los precios de reconocimiento por la energía inyectada por los usuarios-generadores, bajo la fiscalización del ente regulador jurisdiccional.

La provincia de Córdoba con la Ley provincial 10.604 adhiere al régimen de fomento a la generación distribuida proveniente de fuentes renovables de la ley nacional.

2.6.4 Vehículos eléctricos

En argentina no se cuenta con una ley para vehículos eléctricos, y no se encontraban contemplados en ninguna ley. Recién en el año 2018 mediante el decreto 32/2018 del Ministerio de

Transporte de la Nación se habilitó el uso de vehículos eléctricos, incorporando motos, bicicletas y autos eléctricos. La provincia de Córdoba adhiere a este decreto e incluye en la ley Provincial de Transito nº 8.560 a las bicicletas y motos eléctricas. En la ciudad de Villa María mediante una ordenanza municipal se habilitó la circulación de motos eléctricas.

En cuanto a los colectivos, en el año 2019 mediante el decreto 284/2019 se autorizó la incorporación de 8 colectivos eléctricos al transporte público en la ciudad de Buenos Aires, como parte de una prueba piloto que durara un año con el objetivo de estudiar el funcionamiento y determinar las capacidades, la viabilidad y la optimización de los buses eléctricos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la factibilidad de implementación de un bus eléctrico como transporte público para cubrir el trayecto Terminal de Villa María - Campus UNVM

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los costos y beneficios del transporte actual en el trayecto estudiado
- Analizar y comparar las alternativas de transporte público disponibles en el mercado
- Proyectar un prototipo de bus eléctrico adaptado a las necesidades del caso de estudio
 - Evaluar el impacto ambiental de los vehículos
 - Evaluar el impacto del prototipo proyectado en la matriz energética

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El trayecto estudiado se encuentra en la Ciudad de Villa María, provincia de Córdoba. Comienza en la terminal de Ómnibus de la ciudad con el Campus de la Universidad Nacional de Villa María siendo una de las líneas más utilizadas en la ciudad. Se tiene en cuenta la obra de prolongación del Bv. España llevada a cabo por el Municipio de la Ciudad simultáneamente con la concreción de este trabajo. La distancia recorrida en el trayecto a través de la prolongación es de aproximadamente 5 km.

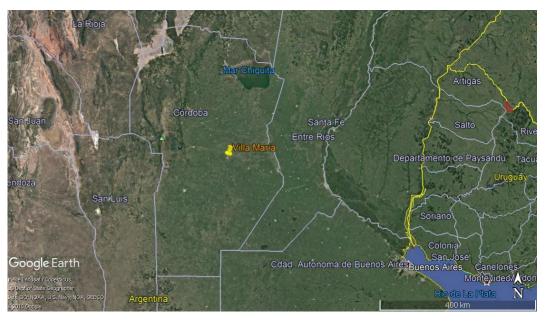


Figura 12. Localización de la Ciudad de Villa María.

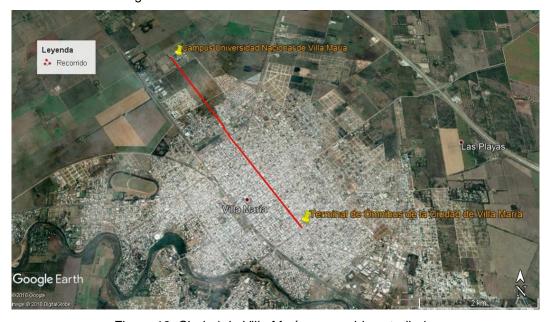


Figura 13. Ciudad de Villa María y recorrido estudiado.

4.2 METODOLOGÍA

4.2.1 Factibilidad

Para evaluar la factibilidad de los vehículos estudiados se utilizará como base la metodología desarrollada en 1987 por el Grupo Gartner de Costo Total de Propiedad con algunas variantes para adaptarse al caso de estudio. Este método sirve para determinar los costos económicos directos e indirectos, así como los beneficios de un vehículo dado durante su vida útil. Además, se realizará una valoración de los impactos ambientales y sociales de cada tecnología comparando las ventajas y desventajas de cada uno.

Los costos directos son aquellos que tienen un impacto directo en el valor final del vehículo, en este estudio se tendrá en cuenta: precio de compra del vehículo, costos de mantenimiento, costo del combustible o de la energía en el caso de los vehículos eléctricos, infraestructura necesaria para su operación.

Los costos indirectos se desprenden del resultado del uso del vehículo, serán tratados en este estudio la disponibilidad y las emisiones generadas.

Es necesario para la realización de este trabajo la obtención de datos técnicos y económicos reales provenientes de fuentes primarias de información.

Se utiliza para los cálculos un precio de dólar de \$ 57,31 pesos argentinos correspondientes al día 25 de agosto del 2019, debido a que en esa fecha se hizo el relevamiento de precios.

Se analizará la factibilidad en operación donde se tendrán en cuenta para la comparación las inversiones iniciales, los costos de energía, de mantenimiento y los costos de infraestructura.

Parámetro	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
Costo de inversión inicial	\$	\$	\$
Costo de la energía/combustible	\$/ kWh o \$/litro	\$/ kWh o \$/litro	\$/ kWh o \$/litro
Km recorridos por día	Km/ día	Km/ día	Km/ día
Km recorridos por año	Km/ año	Km/ año	Km/ año
Costo anual de la energía o combustible	\$/año	\$/año	\$/año
Costos de infraestructura necesaria.	\$	\$	\$
Total	\$	\$	\$
Vida útil del vehículo	Años	Años	Años

Tabla 15. Costos de los vehículos.

Para el costo de la energía, se toma el valor promedio de la energía eléctrica consumida en el mes de julio del año 2019 por la Universidad Nacional de Villa María, obtenido de la factura de EPEC otorgada por la Secretaría de Planificación de la universidad.

4.2.2 Determinación de la situación de transporte actual en el trayecto estudiado

En primer lugar, se realizó una recopilación y análisis de datos técnicos y de operación del medio de transporte actual a través de fuentes de información primarias (Contacto con la empresa, contacto con la Secretaría de Transporte de la ciudad, fichas técnicas de los fabricantes de buses).

Por medio de una entrevista con personal de la empresa EMTUPSE, que es nexo entre la municipalidad y la empresa TRANSBUS, la cual tiene la concesión del servicio, se obtuvo la información de que el sistema de transporte público no cuenta con subsidios de ningún tipo, y solo obtiene un descuento para grandes clientes en la compra del combustible a YPF.

Por medio de una entrevista con personal de la empresa TRANSBUS, se obtuvo la siguiente información: la ficha técnica de los ómnibus utilizados, cuánto combustible se consume, cuántos kilómetros recorren por vehículo por día y número de pasajeros mensuales. Se complementó con acciones de cooperación mediante entrevistas con la Municipalidad de Villa María y la Dirección de Infraestructura y Planificación de la UNVM y se obtuvieron datos de transporte e infraestructura actuales y proyectados sobre el área de estudio.

A partir de los datos obtenidos, se estudiaron las características de los vehículos que están en funcionamiento en el trayecto y se calcularon los costos y beneficios.

4.2.3 Análisis y comparación de alternativas eléctricas disponibles en el mercado

Se recopiló información obtenida a partir de fuentes primarias (fichas técnicas) sobre las alternativas de ómnibus eléctricos disponibles en el mercado nacional e internacional. Si bien en el mercado nacional no hay aun producción de buses, existen algunos fabricantes de ómnibus eléctricos que instalarán plantas de ensamblado en el país, por lo que se proyectan los costos de estos móviles.

Se recopiló información sobre alternativas a buses eléctricos como pueden ser el tranvía y el trolebús.

rabia for comparation de venicales.					
Parámetros	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3		
Costo Inicial	\$	\$	\$		
Tamaño	Metros	Metros	Metros		
Peso	Kg	Kg	Kg		
Pasajeros	Personas	Personas	Personas		
Tipo de motor	Eléctrico	Diésel	Eléctrico		
Consumo /km	kWh/km o l/km	kWh/km o l/km	kWh/km o l/km		
Costo de la energía o combustible	\$/kWh o \$/I	\$/kWh o \$/I	\$/kWh o \$/I		
Autonomía	Km	Km	Km		
Emisiones CO ₂ /km	g/km	g/km	g/km		
Disponibilidad %	%	%	%		

Tabla 16. Comparación de vehículos.

Se analizó la información obtenida y se exponen las características técnicas de cada uno de los vehículos.

Se realizó una comparación en tablas donde se observan las prestaciones técnicas, económicas y ambientales de cada vehículo estudiado.

4.2.4 Proyectar un prototipo de bus eléctrico adaptado a las necesidades del caso de estudio

Para idear el prototipo de ómnibus eléctrico, se realizó una exhaustiva investigación documental sobre experiencias análogas de otras universidades y ciudades. Además, se cuenta con móviles eléctricos e instalaciones de generación distribuida fotovoltaica de proyectos de investigación realizados previamente en la Universidad Nacional de Villa María, los cuales se utilizaron como base de experimentación para la obtención inicial de datos que pueden extrapolarse a móviles de mayor tamaño. Se investigaron las distintas posibilidades de conversión de ómnibus existentes a eléctricos.

Se optimizó el diseño de la batería del prototipo con el objetivo de reducir los costos iniciales de inversión y maximizar la eficiencia total del vehículo. Esta optimización requirió un estudio de las características del trayecto combinado con un análisis de las características del vehículo propuesto y de las baterías disponibles en el mercado.

Las dimensiones analizadas son: distancia por recorrido, paradas, cantidad de recorridos diarios, características del prototipo, cantidad de pasajeros, tipo de batería, capacidad y peso de baterías, tecnología de frenado, autonomía, entre otras.

Se evaluaron las dimensiones y se optó por la solución óptima para brindar un servicio sin inconvenientes (como podría ser que se agotase la batería o que debiera estar parado mucho tiempo recargando), del menor costo posible, eficiente y amigable con el ambiente.

Se estudio la conveniencia de aplicar paneles fotovoltaicos en el techo del móvil para aumentar la autonomía cuando el sol esté disponible y para que la energía que se utiliza provenga en parte de energías renovables. Se evaluaron precios y tecnologías de estaciones de recarga comerciales, considerando la posibilidad de fabricación nacional y/o local de las mismas.

4.2.5 Costo Ambiental de los vehículos

Para calcular las emisiones de GEI se utilizan factores estandarizados y métodos de cálculo del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Para obtener las emisiones directas causadas por el vehículo se multiplicará el combustible utilizado en el trayecto por el valor calorífico neto del combustible y el factor de emisión de CO₂ correspondiente.

A partir de estos datos se realizará una tabla comparativa de las emisiones de cada vehículo estudiado.

Tabla 17. Características del combustible diésel.

Parámetro	Valor	Fuente		
Valor calorífico neto del	43 MJ/kg	IPCC, Guidelines for National.		
combustible diésel		GHG Inventories, 2006		
Factor de emisión de CO₂ del	74,1 g CO ₂ / MJ	IPCC, Guidelines for National.		
combustible diésel		GHG Inventories, 2006		
Densidad del combustible diésel	0,844 kg/l	IPCC, Guidelines for National.		
		GHG Inventories, 2006		

Se evaluó el impacto ambiental local, teniendo en cuenta las emisiones de NO_x y material particulado. Para calcular las emisiones locales se tuvo en cuenta la resolución 1464/2014 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, que clasifica y certifica los vehículos según sus emisiones. Además, se realizó una investigación sobre los contaminantes no incluidos en la legislación como lo son los compuestos orgánicos volátiles, la contaminación del suelo producida por el desgaste de los neumáticos y en algunos casos las pequeñas cantidades de amianto liberadas por los sistemas de frenado de algunos vehículos.

Se estudiaron las emisiones indirectas causadas por la utilización de la red eléctrica nacional para la recarga de baterías de los vehículos eléctricos analizados. Para ello, fue necesario calcular el rendimiento promedio de la red eléctrica nacional y la obtención del valor de emisión de CO₂ de la red. Las emisiones indirectas de los vehículos eléctricos se estudiarán en g/ kWh.

4.2.6 Evaluación del impacto del transporte propuesto en la matriz energética

Se evaluó el impacto de la propuesta en la matriz energética tanto en energía como en potencia. Para ello se remplazó los buses convencionales por las alternativas estudiadas y se insertaron en la matriz energética a fines de compararlos con la matriz actual y entre sí.

5. RESULTADOS

5.1 TRANSPORTE ACTUAL

A partir de reportes otorgados por la empresa TRANSBUS SA se obtiene la siguiente información:

Se utilizan 12 vehículos Agrale M.T. 12 LE en las líneas 102, 104, 106.

Tabla 18. Características vehículo diésel.

Chasis	Agrale M.T. 12 LE
Motor	Cummins ISF 3,8
Nivel de emisiones	Euro V
Año	2007 a 2012
Potencia Máxima	162 CV a 2200 rpm
Torque Máximo	600 Nm a 1700 rpm
Transmisión	Automática
Tanque de combustible diésel	170 litros
Largo Total	9,685 m
Ancho	2,445 m
Peso Bruto Total	12.000 kg



Figura 14. Recorrido líneas 102, 104, 106.

Disponibilidad: lunes a viernes

Vueltas por día: 22

<u>Datos del trayecto:</u>

106

Distancia por vuelta 12,5 km (Google Earth)

4.817,25

536,21

Tiempo por vuelta: 45 minutos.

A partir de la información otorgada por la empresa TRANSBUS (Ver Anexo 1) correspondientes al mes de junio 2018 se resume el total de los datos en la siguiente tabla:

Km Prod. Línea Km Enlace Km Total **Tiempo Pasajeros Veloc Prom** hs:min (Km/h) 252:55 102 4.767,34 990,22 5.757,56 10.019 18,85 104 4.701,23 1.169,96 5.871,19 246:36 10.903 19,00

251:03

10.064

19,19

Tabla 19. Resumen datos empresa TRANSBUS.

Hay que tener en cuenta que los tramos de enlace implican casi un 20% del recorrido útil promedio, esto se debe a la lejanía de los talleres donde se guardan los coches en el Parque Industrial de la ciudad, y conspira contra la sustentabilidad del esquema.

5.353,46

En una reunión llevada a cabo con el personal a cargo de la Empresa Municipal de Transporte Urbano de Pasajeros SEM, la cual contrata a la empresa TRANSBUS para el servicio de transporte público, se obtuvo que a partir del año 2019 la empresa no cuenta con ningún subsidio, y el valor del combustible es el valor de surtidor con un descuento para grandes clientes del 15%.

El consumo promedio de un bus diésel de 12 metros es de 2,5 km / litro variando de acuerdo al tipo de manejo de cada chofer (Grutter, 2014).

En cuanto al mantenimiento, se realiza mensualmente el cambio de aceite a cada vehículo, utilizando aceite semisintético multigrado apto para turbo. El motor Cummins ISF 3,8 requiere 11 litros de aceite en cada cambio. Además, se reemplaza el filtro de aceite en cada cambio, y cada dos cambios de aceite se reemplaza el filtro de aire y el de gasoil.

En cuanto a los costos se estiman con valores de mercado al mes de octubre 2019.

Tabla 20. Costos de mantenimiento.

Material	\$
Aceite x 11 litros	\$ 57 USD
Filtro de aceite	\$ 55 USD
Filtro de aire	\$ 26 USD
Filtro de gasoil	\$ 43 USD

El costo mensual del mantenimiento sin contar mano de obra se estima en \$ 146,5 USD.

5.2 ALTERNATIVAS DE MERCADO DE BUSES ELÉCTRICOS

5.2.1 BUS Yutong E12



Figura 15. Bus Yutong E12

Tabla 21. Características Bus Yutong E12

	-		
Modelo	E12		
Costo	\$ 450 000 USD		
Largo	12 metros		
Ancho	2.55 metros		
Alto	3.34 metros		
Peso	13000 kg		
Consumo	1 kWh/km (Fuente: experiencia Chile)		
Tipo de cuerpo	Estructura monocasco de acero		
Motor	Motor eléctrico PMSM Yutong YTM280-CV9-H único.		
Potencia del motor	Pmax: 350 kW. El motor está refrigerado por agua con su propio radiador.		
Torque	2.400 Nm		
Frenado	Sistema de frenos de aire de doble circuito con frenos de disco delanteros y traseros. Sistema de frenado regenerativo. Suministro de aire del compresor de accionamiento eléctrico.		
Paquete de	12 paquetes de baterías LFP (fosfato de hierro y litio), capacidad total de 324kWh. El sistema de gestión de la batería es exclusivo de Yutong y monitorea constantemente la temperatura, el voltaje, la corriente y la capacidad de las baterías.		
Baterías	Cada paquete pesa 180kgs. El diseño modular de los paquetes de baterías significa que se pueden cambiar fácilmente en el futuro si hay una mejor tecnología de baterías disponible a mitad de la vida útil del vehículo.		
Rango	220 km		
Cant. de pasajeros	92 (32 sentados)		
Confort	Aire acondicionado, calefacción, puertos USB para pasajeros, área de silla de ruedas, entre otros.		

5.2.2 BUS BYD K9G



Figura 16. Bus BYD K9G.

Tabla 22. Características Bus BYD K9G.

Modelo	BYD K9G
Costo	\$ 500 000 USD
Largo	12.5 metros
Ancho	2.55 metros
Alto	3.44 metros
Peso en vacío	14130 kg
Consumo	1,2 kWh/km (Márquez)
Tipo de cuerpo	Estructura monocasco de acero
Motor	AC síncrono de imanes permanentes. Dos motores en rueda.
Potencia del motor	P max 150 kW x 2 (201 HP x 2).
Torque	550 Nm x 2
Frenado	Freno de disco, freno neumático. Sistema de frenado regenerativo.
Pack de baterías	Baterías LFP (fosfato de hierro y litio). Capacidad 324 kWh.
Rango	250 km
Cant. de pasajeros	32 sentados y 49 parados
Confort	Aire acondicionado, calefacción, silla de ruedas, entre otros.

En la siguiente foto podemos observar un Trolebus de la Línea K de Rosario donde operan 20 unidades en la ciudad desde el año 1994.



Figura 17. Metrobús Rosario.

Tabla 23. Características Metrobús Rosario.

Modelo	Torino 1987
Chasis	Volvo
Carrocería	Marcopolo
Equipo eléctrico	Powertronics Avibras. Brasil
Largo	12 metros
Ancho	2.54 metros
Alto	3.48 metros
Tipo de cuerpo	Estructura monocasco de acero
Motor	Villares
Potencia	110 kW
Frenado	Freno eléctrico, a aire. Sistema de frenado regenerativo.
Backup	Grupo electrógeno 20 kvA
Cant. de pasajeros	39 sentados y 71 parados.
Confort	Espacio para silla de ruedas.

En el área del caso de estudio, no se cuenta con líneas eléctricas preparadas para la instalación de catenarias, por lo cual, se necesitaría realizar una obra de infraestructura en conjunto con la empresa distribuidora de energía para el trazado de las catenarias. Recientemente se finalizaron obras de infraestructura de gran inversión en el trazado estudiado: se realizó la extensión de 2km del Boulevard España hasta el Campus de la Universidad Nacional de Villa María, y una repavimentación de 2km que abarca desde la Terminal de Ómnibus de Villa María hasta el cruce con el Boulevard Vélez Sarfield. Por lo cual, se deduce que no sería económicamente viable para los organismos públicos reinvertir

para nuevamente modificar el boulevard con el objetivo de la colocación de catenarias o rieles para un nuevo sistema de transporte distinto a buses.

5.3 PROTOTIPO DE BUS ELÉCTRICO

El bus eléctrico propuesto se basa en la conversión a eléctrico de un bus convencional similar a los que se encuentran circulando en el recorrido.

El chasis Agrale MT 12 LE tiene 10 metros de largo y 2,45 metros de ancho, con un peso aproximado con carga completa de 12 toneladas. Cuenta con una caja de velocidades manual de 5 al frente y 1 en reversa que será utilizada para buscar relaciones que optimicen el rendimiento del motor eléctrico.

La potencia del motor eléctrico necesaria estimada es de 60 kW continuos con picos de 100 KW, mínimos para un manejo austero. Se analizaron los siguientes motores disponibles en el mercado:

Motor de inducción asincrónico de velocidad variable de procedencia china de la empresa ALPHA ELECTRIC. Costo \$ 3000 USD (FOB China, agosto 2019).

Tabla 24. Características Motor Eléctrico ALPHA ELECTRIC.

Número de serie	APEV 60-8
Voltaje nominal	312
Corriente nominal (A)	170
Corriente pico (A)	400
Potencia nominal (kW)	60
Potencia máxima (kW)	100
Velocidad nominal (RPM)	1.600
Velocidad máxima (RPM)	3.600
Par nominal (N. m)	360
Par máximo (N. m)	1.000
Sistema De refrigeración	Agua
Peso (Kg)	140
Motor carcasa	De aluminio

Motor de imán permanente síncrono de velocidad variable de procedencia china de la empresa FOSHAN Uni Technology. COSTO \$ 5000 USD (FOB China, agosto 2019).

Tabla 25. Características Motor eléctrico FOSHAN UNI TECHNOLOGY.

Voltaje nominal (V)	540
Potencia nominal (kW)	80
Potencia máxima (kW)	123
Velocidad nominal (RPM)	1.550
Velocidad máxima (RPM)	4500
Par nominal (N. m)	500
Par máximo (N. m)	1.000
Sistema De refrigeración	Agua
Peso (Kg)	128
Motor carcasa	De aluminio

Motor asíncrono industrial de inducción de procedencia nacional de la empresa WEG, ubicada en la localidad de San Francisco provincia de Córdoba. Costo: \$ 5000 USD disponible en el mercado nacional (agosto 2019).

Tabla 26. Características Motor eléctrico WEG.

Voltaje nominal (V)	380
Potencia nominal (kW)	75
Velocidad Nominal (RPM)	1500
Velocidad Máxima (RPM)	4000
Par nominal (N. m)	477
Sistema de refrigeración	Aire. Forzada
Peso (Kg)	500

La capacidad de baterías de 60 kWh proporciona la autonomía necesaria teniendo en cuenta un consumo aproximado de 0.8 kWh/km y un sistema de cargas de oportunidad para completar todo un día de trabajo. Estas cargas se realizarían en paradas donde debido a que la cantidad de usuarios es mayor y el vehículo se encuentra detenido más tiempo, se puede aprovechar este lapso para realizar pequeñas cargas, estas paradas se dan en la UNVM y en la Terminal de ómnibus de la ciudad.

Para el sistema planteado de carga en oportunidad es necesario contar con estaciones de carga ubicadas en los extremos del trayecto, las cuales coinciden con las paradas más largas. Además, en estos puntos se encuentran 2 instituciones públicas que cuentan con instalaciones eléctricas de mayor potencia, la terminal de ómnibus de Villa María y UNVM.

En Argentina actualmente las empresas QEV Argentina en asociación con el grupo ABB (ASEA Brown Broveri) se encuentran en producción de cargadores rápidos para instalar en las estaciones de

servicio YPF, que cuentan con una potencia de 50 kW, este cargador es muy grande para el caso de estudio, ya que en 5 minutos entregaría más energía de la que se gastó en el trayecto. Se estima que por cada trayecto recorrido el bus prototipo gastaría aproximadamente 4 kWh. Con un cargador de 32 kW que equivale a 0.53C, en 6 minutos podemos recargar 3,2 kWh que equivale al 80% de lo consumido en el recorrido, quedando un resto de 0.8 kWh que los absorbería la capacidad de baterías. El cargador propuesto se incluiría en el vehículo, esto implica un peso extra de 50 kg aproximadamente pero un ahorro en el costo del 50% con respecto a la opción de poner cargadores en los extremos del recorrido. Suponiendo que se realizan 22 vueltas diarias (el servicio que ofrece actualmente la empresa), si el servicio se inicia con la batería completamente cargada, por cada vuelta la batería gastaría 1.6 kWh dejando un déficit diario de 35,2 kWh que equivale a una profundidad de descarga cercana al 60%, que se completarían en una carga nocturna, por lo cual no se pondría en riesgo el servicio y las descargas no serían tan agresivas para la vida útil de la batería.

En cuanto a la química de las baterías de litio, se evalúan las siguientes opciones que se adaptan al sistema de estudio: LFP, LTO y NMC. Cabe señalar que en Argentina todavía no se encuentran disponibles la importación de baterías LTO.

Tabla 27. Paquete de baterías para sistema de carga en oportunidad (FOB UE agosto 2019).

Tipo	LFP	LTO	NMC
Densidad Energética	120 Wh/kg	80 Wh/kg	220 Wh/kg
Corriente de carga	1 C	1C a 5C	0,7C a 1C
Ciclo de vida	2000+	7000	2000
Capacidad Total	60 kWh	60 kWh	60 kWh
Peso total	500 kg	750 kg	273 kg
Precio Total	\$ 34800 USD	\$ 60300 USD	\$ 25200 USD

En el caso de no utilizar el sistema de carga en oportunidad, se utilizaría un paquete de baterías que cubra la energía total de un día de trabajo. Al poner un paquete de baterías de mayor capacidad también se aumentará el peso del vehículo considerablemente por lo que el consumo se verá afectado produciendo un aumento estimado de 0.8 kWh/km a 1 kWh/km. El consumo de un día de trabajo para este sistema se estima en 220 kWh. Teniendo en cuenta una profundidad de descarga del 70% para no atentar con la vida útil de las baterías, se necesita un paquete de baterías con una capacidad de 315 kWh. Eventualmente, al realizar ciclados más largos como ocurre en este sistema, la vida útil de la batería podría verse afectada. En este caso se descartan las baterías LTO que son más ventajosas en cargas rápidas y que tienen un peso mayor debido a la densidad energética menor comparado con las alternativas de LFP y NMC.

Tabla 28. Paquete de baterías para sistema de carga única (FOB UE agosto 2019).

Tipo	LFP	NMC
Densidad Energética	120 Wh/kg	220 Wh/kg
Corriente de carga	1 C	0,7C a 1C
Capacidad Total	315 kWh	315 kWh
Ciclo de vida	2000	2000
Peso total	2625 kg	1431,81 kg
Precio Total	\$ 182700 USD	\$ 132000 USD

En la tabla anterior se puede observar cómo varía considerablemente el peso y el costo del paquete de baterías razón por la cual en un principio se descartó esta posibilidad en la planificación del prototipo.

Además, se cuenta con aproximadamente 24 metros cuadrados de techo disponible donde se colocarán paneles solares fotovoltaicos flexibles para cargar las baterías. El tamaño aproximado de un panel flexible de 170W es de 1,15m de largo por 0,81 de ancho (SUNPOWER), el espacio disponible permite colocar 18 paneles de este tipo logrando una potencia de 3 kWp.

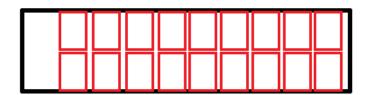


Figura 18. Esquema techo con paneles solares.



Figura 19. Ejemplo de bus eléctrico con techo solar.

En cuanto a la estimación de costos, es necesario tener en cuenta los impuestos existentes en el país, ya que los precios obtenidos son FOB (costo previo al embarque) en China y en la Unión Europea. Al precio FOB se debe agregar el costo del seguro y el flete hasta Argentina, siguiente los impuestos al ingreso del país, que son el 16% de derecho de importación y el 3% de la tasa estadística, la segunda tanda de impuestos son el 21% de impuesto al valor agregado (IVA) y el 20% de IVA adicional, por último, el 6% de impuesto a las ganancias y el 3% de ingresos brutos correspondientes a los vendedores. La universidad como institución pública puede eximirse de pagar algunos de estos impuestos, por lo cual se estima el precio de 100.000 USD para el total de la conversión, de ser un particular el que realice la conversión el precio superaría esta cifra. Para la conversión de un bus Agrale mt 12 de caja manual a eléctrico se optaría por la opción de baterías de NMC que cuentan con 2000 ciclos al 80% DOD que a razón de 5 días a la semana equivalen a 260 ciclos anuales, pero en el caso de estudio con una profundidad del 60% se obtendrían mayor cantidad de ciclos superando los 8 años de vida útil. Si se tiene en cuenta el aporte de los 3 kWp paneles solares que con una insolación promedio anual de 4,5 horas solares equivalentes entregarían 13,5 kWh al día lo que representa un valor cercano al 10% del consumo diario otorgando mayor autonomía y alargando la vida útil en ese porcentaje.

En cuanto a la selección de motores se puede utilizar el motor asincrónico industrial WEG de origen nacional con el controlador Sinovo o Siemens que pueden obtenerse de proveedores locales pero este motor tiene un peso de 500 kg que conspira contra la eficiencia del vehículo. Si se opta por el motor Foshan el peso es de 128 kg con mejores características de potencia y torque por ser un motor sincrónico de imanes permanentes fabricado especialmente para vehículos eléctricos, pero se elevarían los costos asociados ya que los precios son FOB China.

Tabla 29. Costos asociados estimados (agosto 2019)

Chasis y carrocería	0 USD
Motor WEG	\$ 5000 USD
Motor ALPHA ELECTRICS	\$ 3000 USD (FOB China)
Motor FOSHAN	\$ 5000 USD (FOB China)
Controlador Sinovo	\$ 3000 USD
Controlador Siemens	\$ 5500 USD
Controlador FOSHAN	\$ 3500 USD (FOB China)
Baterías LTO	\$ 60300 USD (FOB Euro)
Baterías LFO	\$ 34800 USD (FOB Euro)
Baterías NMC	\$ 25200 USD (FOB Euro)
Cargador para VE Wenzhou Bluesky 32 kW	\$ 4200 USD (FOB China)
18 paneles Solares SunPower 170Wp	\$ 2790 USD (FOB China)
Regulador de carga	\$ 300 USD (FOB China)
Mano de obra	\$ 5000 USD
Materiales Extra Locales	\$ 5000 USD

Considerando lo nombrado anteriormente más un cargador de 32 kW y la infraestructura necesaria en los establecimientos, más mano de obra, materiales del mercado local y los costos asociados al flete y a impuestos se estima un costo total aproximado a \$ 100.000 USD que es cinco veces menor al precio de un bus BYD en Argentina aproximado a \$ 500.000 USD.

5.4 IMPACTO AMBIENTAL

5.4.1 Emisiones directas

En el caso de estudio los valores de emisión de los vehículos a combustión circulantes no fueron medidos, pero se estima que están en el límite de lo establecido por la ley ya que los vehículos tienen en algunos casos 10 años de antigüedad.

Línea	Km mensuales	Litros	KG CO₂ liberados	Kg NO _x Max.	Gramos MP Max.
102	5757,56	2303	6195,07	20,7	207,2
104	5871,19	2348	6316,12	21,14	211,36
106	5353,46	2141	5759,29	19,27	192,7
Promedio	5660,74	2264,3	6090,95	20,38	203,79

Tabla 30. Emisiones directas por línea en el mes de junio 2018.

En cuanto a las emisiones de un colectivo diésel en el trayecto propuesto consideramos una distancia recorrida mensual de 4400 km, en el cual el bus con un consumo promedio de 2,5 km/litro consumiría un total de 1760 litros de gasoil. Con una tasa de emisión del gas oíl de 2,69 kg de CO₂/litro emitiría a la atmósfera 4734,4 kg de CO₂ mensuales.

5.4.2 Emisiones indirectas de buses eléctricos

Para realizar el cálculo de las emisiones de CO₂ indirectas de los buses eléctricos partimos de la base de que la energía utilizada para la carga de las baterías proviene de la red eléctrica, que en el año 2018 estuvo compuesta por 63,8% de generación térmica a partir de combustibles fósiles con un coeficiente de emisión de la generación térmica de la red de 0,466 kg/kwh

A partir del sistema planeado de buses eléctricos para el trayecto estudiado, que cuenta con un servicio de lunes a viernes de 22 vueltas por día. Se puede establecer que se recorrerían mensualmente 4400 km sin contar los kilómetros de enlace. De la energía generada necesaria para cubrir esta distancia con los buses eléctricos el 63,8% proviene de fuentes térmicas en base a combustibles fósiles, por lo que el restante no generaría emisiones.

Bus	BYD K9	Yutong	Bus Unvm
Consumo kWh/km	1,2	1	0,8
Km mensuales recorridos	4400	4400	4400
Consumo Mensual kWh	5280	4400	3520
Energía Térmica generada. KWh (63,8%)	3368,6	2807,2	2245,8
Emisión de CO₂ kg/mes	1569,8	1308,6	1046,5

Tabla 31. Emisiones de CO₂ indirectas de los buses eléctricos.

Si comparamos los buses eléctricos con el diésel en el trayecto propuesto podemos observar como la peor de las opciones eléctricas emite aproximadamente un tercio de lo que emite el diésel y el prototipo propuesto reduce a menos de un cuarto las emisiones.

Tabla 32. Comparación de emisiones de buses eléctricos con bus diésel.

Bus	BYD K9	Yutong	Bus UNVM	Diésel
Emisión de CO2 kg/mes	1569,8	1308,6	1046,5	4734,4

5.5 IMPACTO EN LA RED ELÉCTRICA

El impacto en la red eléctrica del sistema propuesto se puede considerar desde el punto de vista de energía o de potencia. En cuanto a la potencia, con el cargador de 32 kW incluido en el vehículo, es necesario en los extremos del trayecto y lugar de almacenamiento un punto de suministro trifásico de 380V y 80A con protecciones termomagnéticas y disyuntor diferencial. Desde el punto de vista de la red se debe prever una acometida equivalente a un consumo de una industria pequeña o edificio de 7 departamentos. Con respecto a la calidad del servicio, los rectificadores de switching poseen control de modo de corriente incorporado que implican un factor de potencia prácticamente unitario y filtros de línea que evitan interferencias.

En relación a la energía, si la línea 104 diésel adopta el trayecto propuesto gastaría mensualmente 1760 litros de gasoil que equivalen a 17639 kWh, con el prototipo eléctrico propuesto el gasto mensual de energía eléctrica desde la red es de 3520 kWh, que con la eficiencia promedio en generación de la red (44%) darían 8000 kWh equivalentes a 798 litros de gasoil sin considerar las pérdidas de transmisión ni el transporte del combustible hasta los vehículos. Desde el punto de vista energético global se ahorran 962 litros de gasoil con sus correspondientes emisiones.

La tendencia mundial de aumento de la penetración de buses eléctricos, y el uso de la carga nocturna, conducirán a un aplanamiento de la curva de demanda de las redes eléctricas debido a que se aprovechan las capacidades ociosas de los generadores en horarios de valle.

5.6 FACTIBILIDAD

Se tiene en cuenta que el bus funciona 5 días a la semana durante 11 meses, ya que en enero la institución universitaria cesa actividad debido a las vacaciones de verano por lo que el servicio quedaría suspendido. Se considera un promedio de 22 días hábiles mensuales. Para calcular la energía generada por el techo solar del bus se tiene en cuenta la potencia instalada de 3 kWp con 4,5 horas solares equivalentes durante los días de uso del bus.

3 kW * 4,5 h/día = 13,5 kWh/día 13,5 kWh/día * 22 días/mes = 297 kWh/mes 297 kWh/mes * 11 meses/año = 3267 kWh/año El techo solar del bus generaría con 3 kWp instalados de forma horizontal 3267 kWh durante un año de operación.

Para el costo del gasoil se utiliza el valor del surtidor que es \$ 43,56 pesos argentinos (21/8/19) con un descuento para grandes consumidores del 15%, esto con un precio del dólar de \$ 57,31 (25/8/19) equivale a \$ 0,68 USD.

En cuanto al costo de la energía eléctrica, se toma el valor del kWh promedio de la boleta de EPEC de la Universidad Nacional de Villa María del mes de Julio del 2019 que fue de \$ 3,27 pesos argentinos y equivale a \$ 0,057 USD, cabe resaltar que la universidad cuenta con un precio menor al usuario promedio en la ciudad debido a que es un gran consumidor y una institución pública.

En cuanto a los costos de mantenimiento, los vehículos diésel realizan un cambio de aceite mensual, por lo que se estima el costo en materiales de \$ 146,5 USD sin tener en cuenta la mano de obra. En once meses de trabajo se estimó el gasto anual de los vehículos diésel en \$ 1611,5 USD. En cambio, los vehículos eléctricos no requieren mantenimiento de este tipo, también disminuye drásticamente el mantenimiento de los frenos gracias al frenado regenerativo. En cuanto al resto del mantenimiento (suspensión, carrocería, cubiertas, etc.), es similar en ambos buses.

Tabla 33. Factibilidad económica en operación

Bus	UNVM	BYD	Diésel
Costo bus	\$ 100000 USD	\$ 500000 USD	\$ 120000 USD
Consumo	0,8 kWh/km	1,2 kWh/km	2,5 km/litro
Capacidad de las Baterías	60 kWh	324 kWh	-
Química de las Baterías	NMC	LFP	-
Peso del paquete de Baterías	273 kg	2700 kg	-
Distancia mensual recorrida	4400 km	4400 km	4400 km
Consumo Mensual	3520 kWh	5280 kWh	1760 litros
Energía Solar Generada Promedio Anual	3267 kWh	-	-
Vida Útil	Baterías NMC	Baterías LFP	10 años
Vida Otii	8 años+	8 años+	TO allos
Costo mantenimiento anual	-	-	\$ 1611,5 USD
Costo Gasoil	-	-	\$ 0,65 USD/litro
Costo Energía Eléctrica	\$ 0,057	\$ 0,057	_
(Unvm)	USD/kWh	USD/kWh	
Ahorro Anual por Generación Solar	\$ 186,2 USD	-	-
Costo Total de Energía Anual	\$ 2020,8 USD	\$ 3310,5 USD	\$ 14195,5 USD

En la tabla anterior podemos observar que el ahorro anual utilizando el prototipo propuesto en el trayecto sería aproximadamente de 12.000 USD. Debido a la situación de depreciación de la moneda ocurrida, los costos relativos quedaron desfasados resultando de una mayor dificultad para amortizar los productos importados.

6. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista ambiental, se concluye que la utilización de vehículos eléctricos para transporte público es muy favorable para la calidad de vida de la sociedad. Las emisiones de contaminantes locales son nulas, al mismo tiempo, las emisiones de CO₂ indirectas por generación de energía son mucho menores que las directas producidas por un vehículo diésel equivalente, evitando emitir a la atmosfera 3688 kg CO₂/mes en el caso de utilizar el Bus UNVM. Además, se evitan las emisiones de material particulado, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno asociadas a los vehículos convencionales. Otro de los beneficios ambientales es la reducción de la contaminación sonora, ya que los vehículos eléctricos no emiten ruidos en su funcionamiento. Puede darse un pequeño aumento de la contaminación por radiación electromagnética en las proximidades del cargador, pero el sistema deberá cumplir con los parámetros mínimos establecidos por la ley.

Desde el punto de vista técnico, considerando que en un bus eléctrico el elemento de recambio es el paquete de baterías y que el resto de las partes tienen una vida útil muy prolongada, se puede inferir que con el ahorro de \$ 12.000 USD anuales del prototipo UNVM con respecto al colectivo diésel, en menos de 3 años se puede amortizar el costo FOB del paquete de baterías, lo cual habla en favor de la opción elegida. En cambio, con los buses eléctricos comerciales debido a la dimensión del paquete de baterías, el tiempo de amortización excede con mucho la vida útil de las mismas. Otra ventaja técnica, es que, en comparación con las alternativas del mercado, el prototipo tiene aproximadamente 2400 kg menos de peso de baterías, lo que se traduce en ahorro energético y mayor agilidad. Además, una característica positiva del modo de trabajo con pequeños ciclos de carga y descarga alrededor de un punto de equilibrio de ¾ C, es que en ese intervalo se garantiza una mayor duración de esta tecnología de baterías.

Se puede observar una diferencia de 5 a 1 en el valor inicial a favor del prototipo propuesto en este estudio, por lo que el ahorro anual significa un 12% de la inversión. En cambio, en el caso de los buses comerciales debido a su elevado precio el ahorro anual significa aproximadamente 2% del costo inicial.

Considerando un consumo total diario del prototipo propuesto de 176 kWh, para obtener un balance diario neto de energía eléctrica y emisiones cero a partir de la generación de energía renovable, se deberá contar con un parque solar fotovoltaico de 35 kW que ocupa aproximadamente 250 metros cuadrados, los cuales estarían disponibles en los techos de la Universidad. Utilizando un ángulo de paneles solares de 30° se obtiene un promedio anual para esta zona de 5 horas solares equivalentes, con este ángulo se logra cubrir el balance neto diario de energía. Este sistema de generación distribuida inyecta la energía a la red eléctrica de la institución para el autoconsumo en los días de semana, en los fines de semana que no hay consumo y el bus no circula, la energía generada es inyectada a la red bajo el esquema de la ley Nacional 27.424 de generación distribuida y su adhesión provincial mediante la ley 10.604.

Si se realizara una inversión extra de aproximadamente \$ 52.500 USD (\$ 1,5 USD/kWp, precio promedio por Watt llave en mano para Argentina) en un parque solar fotovoltaico de 35 kWp se podría obtener un balance neto de cero energías y cero emisiones, ya que alcanzaría para cubrir el consumo

diario del prototipo propuesto. Esta energía seria inyectada en las instituciones asociadas al proyecto para luego realizar el balance con la energía consumida por el bus eléctrico. Este balance depende del esquema de generación distribuida adoptado, en el caso de ser Net Metering el ahorro es directo, en cambio, en el caso de la provincia de Córdoba el sistema legal es Net Billing por lo que solo en el caso de que haya simultaneidad entre la generación y el consumo se pueden descontar los costos completos de la tarifa eléctrica en este esquema de autofinanciación, siendo este el caso más probable por la magnitud de los consumos de la UNVM. Esta institución cuenta con techos disponibles suficientes para la colocación de los paneles solares por lo que estos no competirían en el uso del espacio.

Por último, están los paneles solares incluidos en el vehículo, que pueden cubrir hasta un 20% de la energía en trayectos diurnos en las mejores condiciones de insolación y el frenado regenerativo que con ajuste liviano para evitar sobre corrientes en las baterías puede ahorrar hasta un 12% según mediciones propias de trabajos anteriores. También, se puede considerar la incorporación de supercapacitores que permitan un frenado regenerativo más agresivo con mayor ahorro.

Desde el punto de vista social, al utilizar el prototipo propuesto en este estudio se obtendrá un transporte económico e inclusivo, ya que se reducirían los costos de operación generando un abaratamiento del boleto siendo el mismo más accesible para la sociedad. Además, ya que este sistema de transporte es amigable con el medio ambiente, sería muy aceptado por la sociedad, más aún en estos tiempos de preocupación por los efectos del cambio climático.

Además, la conversión de buses convencionales a eléctricos generaría puestos de trabajo locales, promueve el reciclado y reutilización de materiales extendiendo el ciclo de vida de los chasis con el consecuente ahorro de energía necesaria para la producción de vehículos nuevos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Fábricas de Automotores, Informe de Parque Automotor 2018. 2018.
- Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes, Flota Circulante Argentina 2018. 2018.
- Battery University 08/2019. BU-204: How do Lithium Batteries Work? Disponible en https://batteryuniversity.com
- Battery University 08/2019. BU-205: Types of Lithium-ion. Disponible en https://batteryuniversity.com
- Battery University 08/2019. BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries. 2019. Disponible en https://batteryuniversity.com
- Battery University 08/2019. BU-101: When Was the Battery Invented? Disponible en https://batteryuniversity.com
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima. Informe Anual 2018. 07/2019.
- Decreto Reglamentario 32/2018, Ministerio de Transporte de la Nación. Boletín Nacional enero 2018.
- Frost & Sullivan, Strategic Analysis of Global Hybrids and Electric Heavy-Duty Transit Bus market,
 2013
- FURMANIAK, Thomas y SCHUMANN, John (2010) Light rail & streetcar systems how they differ;
 how they overlap. American Public Transportation Association APTA. Washington D.C.: LTK Engineering Services. 20 p.
- Gonzalo Márquez. Evaluación de los primeros vehículos eléctricos funcionando en el Sistema de Transporte Metropolitano
- Grutter Jurg, Rendimiento real de buses híbridos y eléctricos, diciembre 2014. REPIC Platform c/o
 NET Nowak Energy & Technology AG Waldweg 8, CH-1717 St. Ursen.
- International Energy Agency, Global EV Outlook 2018, towards cross-modal electrification. Mayo 2018.
- International Energy Agency. CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017. 2018
- Ley Provincial 10.604. Legislatura de la provincia de Córdoba. 29/01/2019.
- Ley Nacional 27.424. Congreso de la Nación Argentina. Boletín Oficial nº 33779. 27/12/2017.
- López Gianni, Galarza Sebastián, "Movilidad Eléctrica, oportunidades para Latinoamérica ", PNUMA, ONU, 2016.
- Pierantonelli Mario, Quintilla Tomas et al. Estudio de la sinergia entre vehículos eléctricos y generación distribuida fotovoltaica. 2017. Universidad Nacional de Villa María. 2017
- Resolución 284/2019, Ministerio de Transporte de la Nación. Boletín Nacional mayo 2019.
- Secretaria de Energía de la Nación. Balance Energético Nacional año 2018, revisión 2. 2019.
- The World Bank Group 2019, Global Energy Atlas, Villa María. 2019.

8. ANEXOS

Anexo 1

Tabla 1. Línea 102 desde el día 01/06/2018 al 30/06/2018.

Coche	Km Productivos según GPS	Km de enlace según GPS	Tiempo	Velocidad Promedio
	Km	Km	Hs:Min	Km/h
Coche 46	704,85	259,59	37:48	18,64
Coche 47	58,69	185,54	03:27	16,96
Coche 49	1.026,39	42,81	53:31	19,17
Coche 52	160	48,54	07:57	20,10
Coche 53	175,47	47,08	09:10	19,14
Coche 56	190,02	8,79	09:52	19,24
Coche 58	421,85	61,84	22:23	18,84
Coche 59	261,14	37,14	13:46	18,95
Coche 60	1.079,20	126,53	58:07	18,57
Coche 61	689,73	172,36	36:49	18,73
Total	4.767,34	990,22	252:55	18,85

Tabla 2. Línea 104 desde el día 01/06/2018 al 30/06/2018.

Coche	Km Productivos según GPS	Km de enlace según GPS	Tiempo	Velocidad Promedio
	Km	Km	Hs:Min	Km/h
Coche 46	862,58	541,14	44:45	19,27
Coche 47	12,13	172,04	00:35	20,67
Coche 48	578,05	55,43	30:25	19
Coche 52	187,39	93,39	11:22	16,48
Coche 58	1.024,55	95,77	52:01	19,69
Coche 60	1.023,31	123,64	54:24	18,81
Coche 61	1.013,22	88,55	53:01	19,11
Total	4.701,23	1.169,96	246:36	19,004

Tabla 3. Línea 106 desde el día 01/06/2018 al 30/06/2018.

Coche	Km Productivos	Km de enlace	Tiempo	Velocidad
	según GPS	según GPS		Promedio
	Km	Km	Hs:Min	Km/h
Coche 46	255,61	29,21	12:56	19,76
Coche 47	771,74	84,51	39:54	19,34
Coche 48	1.341,43	200,68	69:12	19,38
Coche 49	176,49	14,39	09:09	19,25
Coche 56	303,94	19,70	15:42	19,34
Coche 60	939,81	114,91	51:04	18.40
Coche 61	1.028,23	72,81	53:02	19,38
Total	4.817,25	536,21	251:03	19,19