

RENTABILIDAD ECONÓMICA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO SEGÚN ESTUDIOS DE SENSIBILIDAD DE VARIABLES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS

Mariano Perdomo¹, Ulises Manassero¹, Nehuen Echiverri¹, Facundo Lucero¹, Lautaro Rossi¹, Pablo Marelli¹

¹ UTN, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina. CP 3000

perdomomariano@hotmail.com

Resumen

Estudios previos demostraron que, para beneficiar la operatividad de las redes de distribución, los usuarios con vehículos eléctricos deben efectuar su recarga en horarios de valle de demanda. Por esto, se debe incentivar a los usuarios de vehículos eléctricos a que adopten ciertos comportamientos.

Bajo este contexto, en el presente trabajo se propone como objetivo estudiar distintos tipos de tarifas de energía eléctrica residencial y realizar un análisis económico del recambio de un automóvil convencional por uno eléctrico de prestaciones similares. Se pretende comparar distintos tipos de usuarios, diferenciados por la potencia de recarga de los vehículos y su comportamiento en función de la demanda de potencia de la red (recarga controlada o no controlada).

Inicialmente se evalúa la aplicación de esquemas de tarifa de energía eléctrica de tipo flexible (diferentes precios según el rango horario) y polinómica (distintos cargos por potencia y energía), con el propósito de incentivar la recarga de los vehículos eléctricos en horas de valle. Luego se efectúan estudios de las erogaciones económicas de distintos tipos de usuarios y análisis de sensibilidad para identificar puntos clave que tornarían atractivo el uso de vehículos eléctricos frente a vehículos convencionales.

Los resultados indican que, si se establecen costos de adquisición de los vehículos eléctricos similares a los vehículos convencionales, es rentable dicho cambio. En los demás casos estudiados no se presentaron condiciones donde se torne conveniente el reemplazo de los vehículos convencionales por vehículos eléctricos.

Palabras Clave: Vehículos Eléctricos, Tarifa de Energía Eléctrica, Incentivo Económico.

INTRODUCCIÓN

Los objetivos de la agenda de desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas, la creación del Acuerdo de París (ONU, 2015), la definición de políticas nacionales de cambio climático y acciones similares a nivel internacional, nacional o regional, demuestran el alto grado de importancia que adquiere actualmente disminuir o eliminar aquellas acciones perjudiciales para el medio ambiente (EPA, 2018). Según IRENA (International Renewable Energy Agency) aproximadamente un tercio de la demanda actual de energía es atribuible al rubro del transporte, por su alta dependencia de combustibles fósiles (IRENA, 2019). Por esto la movilidad eléctrica resulta ser una opción sustentable para mitigar la contaminación debida a la movilidad convencional. Además, permite integrar energías renovables en el rubro del transporte y disminuir su consumo energético.

Con lo antes mencionado la adquisición de los EV (vehículo eléctrico) comienza a ganar importancia a nivel internacional, aunque a nivel nacional o regional no se observa un impacto considerable.

Por ello en el presente trabajo se plantean distintos escenarios a nivel regional con el fin de crear una tendencia al cambio de los vehículos convencionales (CE) a EV. Se plantea un estudio económico de rentabilidad del EV, según los siguientes análisis: (i) costos de adquisición y mantenimiento del EV y CE en términos actuales; (ii) rentabilidad del EV a partir de la disminución de su costo de adquisición; (iii) rentabilidad del EV por contratación de distintas tarifas residenciales de energía; (iv) análisis de tipos de recarga (pico, valle, resto) y aporte de energía en modo descarga de energía del EV hacia la

red (V2G); (v) rentabilidad del EV por aumentos en los precios de la tarifa de energía residencial (reducción de subsidios actuales); (vi) análisis de sensibilidad de rentabilidad del EV según distancias recorridas y modo de conducción del usuario.

METODOLOGÍA

En el presente trabajo se adopta como EV de estudio el modelo Kangoo Z.E. comercializada por Renault Argentina (Renault, 2022), y como CE el modelo Kangoo ZEN SCe 1.6 nafta, debido a su gran similitud. Se optó por la selección de estos modelos por ser comercializados en Argentina, región de estudio del presente estudio y donde se corresponden diversos parámetros adoptados. Además, particularmente, el estudio del consumo de energía de los usuarios tomado como base se realizó en la Provincia de Santa Fe. Como tarifas de energía se tomaron los valores actualizados de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPE-SF), en concreto las tarifas Residencial hasta 20 kW y las tarifas 2 de grandes demandas, baja tensión, y demandas menores a 300 kW (EPE-SF, 2022). El combustible adoptado para el CE es nafta súper, cuyo precio se obtuvo del sitio web Global Petrol Prices (Global Petrol Prices, 2022).

En el caso de la reducción del costo inicial del EV, se realizó la diferencia entre ambos vehículos (EV y CE), y ese valor se fraccionó en cuatro escalones iguales, buscando una disminución gradual del costo de adquisición del EV hasta igualar el costo inicial del CE.

Actualmente la energía se encuentra subsidiada en un 70% (CMMESA, 2022), por lo que se plantea la disminución de los subsidios en dos tramos, el primero llevando el subsidio al 30% y el segundo abonando la tarifa plena. Así, es posible modelar un escenario en el cual los usuarios no cuenten con subsidios otorgados por el gobierno nacional. Por otra parte, esta reducción escalonada de los subsidios permitirá realizar un análisis sobre la sensibilidad de las variables en estudio frente a estos cambios.

En la tabla 1 se presentan los costos de adquisición de los vehículos (IVA incluido), y su consumo promedio cada 100 km (valor declarado por la organización que comercializa ambos modelos). Por otra parte, en la tabla 2 se muestra el costo de las tarifas de energía para los tres casos (subsidiada al 70%, subsidiada al 30% y sin subsidio) y el combustible.

Tabla 1. Costo de adquisición y consumo promedio.

Vehículo	Costo de adquisición [USD]	Consumo promedio cada 100 km
Kangoo Z.E.	53.984 (IVA incluido)	15,5 [kWh]
Kangoo ZEN SCe 1.6	31.802 (IVA incluido)	9,4 [L]

Tabla 2. Costo de la energía residencial hasta 20 kW y combustible promedio.

	Cuota se serv. USD/sum. Mes	Primeros 75kWh/mes (USD/kWh)	Siguientes 75kWh/mes (USD/kWh)	Siguientes 150kWh/mes (USD/kWh)	Excedente de 300kWh/mes (USD/kWh)	Imp. energías renovables
Costo de la energía sin subsidio	3,512	0,163	0,183	0,269	0,335	0,166
Subsidiado en un 30%	2,468	0,114	0,128	0,188	0,234	0,116
Subsidiado en un 70%	1,053	0,049	0,055	0,081	0,100	0,050
Costo nafta USD/[L]	1,026					

En la tabla 3 se presenta el costo de la energía tarifa 2-grandes demandas, baja tensión-demandas menores a 300 kW, con la respectiva quita de subsidios. Los valores se presentan en dólares (USD), con un tipo de cambio al momento de realizar el trabajo de 144 pesos.

Tabla 3. Costo de la energía tarifa 2-grandes demandas, baja tensión-demandas menores a 300 kW.

Caso	Cargo comercial	Cargo cap. Pico	Cargo cap. Fuera de pico	Cargo cap. Pot. Adquirida	Cargo energía horas pico	Cargo energía horas resto	Cargo energía horas valle
Costo de la energía sin subsidio [USD]	110,38	36,38	16,22	2,25	0,125	0,12	0,114
Subsidiado en un 30% [USD]	77,27	25,47	11,36	1,58	0,088	0,084	0,08
Subsidiado en un 70% [USD]	33,11	10,91	4,87	0,68	0,038	0,036	0,034

Análisis de rentabilidad de EV según sensibilidad de costos de adquisición y costo de la energía

En la figura 1 se presenta una comparativa de los costos que generaría cada vehículo, con la tarifa residencial hasta 20 kW de energía subsidiada en un 70% y los costos de adquisición decrecientes para el EV, con un costo actual de 53.984 USD (Kangoo Z.E), y con cuatro niveles de descuento: 48.438 USD (Kangoo Z.E 1), 42.893 USD (Kangoo Z.E 2), 37.347 USD (Kangoo Z.E 3), 31.802 USD (Kangoo Z.E 4).

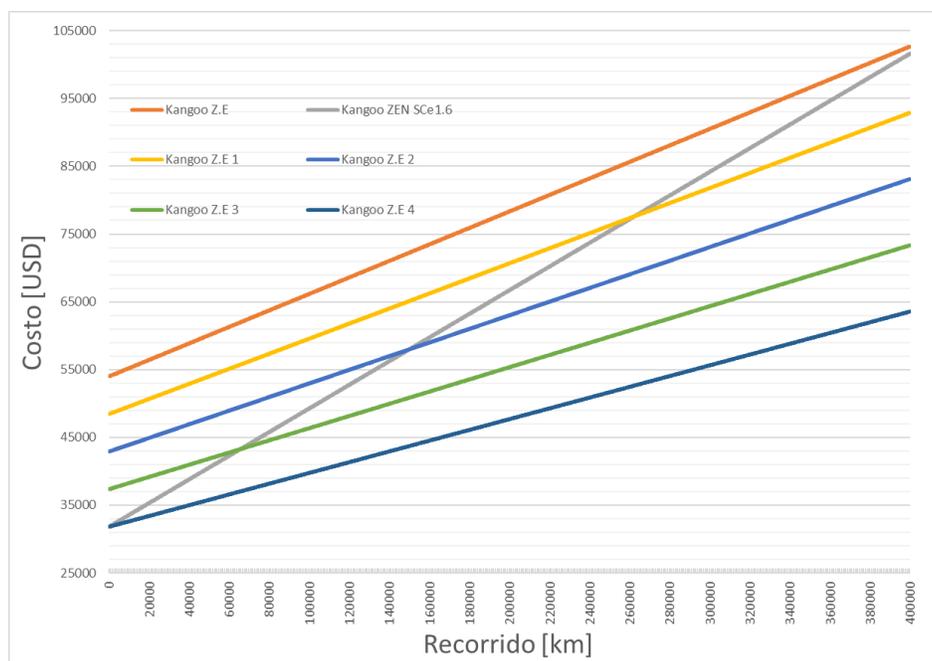


Figura 1. Comparativa de costo acumulado con tarifa subsidiada 70%.

Para los costos actuales de un EV, si bien se advierte un punto de intersección con la curva del CE que implicaría la viabilidad económica del EV, se observa que tal condición se presenta para un recorrido

acumulado del orden a los 350.000 km, equivalentes aproximadamente a 35 años de uso del vehículo, considerando un uso diario estándar de 30 km. Por lo general, la mayoría de los usuarios cambian el automóvil en un período menor a los 10-11 años por cuestiones de incremento en los costos de mantenimiento, obsolescencia tecnológica, preferencias personales, entre otros motivos, por lo tanto, se asume que la factibilidad de reemplazo de CE por EV debe no solo contemplar la viabilidad económica, sino además verificarse para un periodo de tenencia del vehículo acorde, que puede traducirse en un recorrido máximo acumulado de 100.000 a 115.00 km. En base a estos criterios, se verifica una condición de rentabilidad del EV, para un descuento de por lo menos el 21% respecto a su costo actual (caso Kangoo ZE2). En el caso de un descuento del 31%, la intersección entre las curvas se produce en el orden a los 6000 km, equivalente a 6 años, mientras que, para una igualdad en el costo inicial de adquisición, el EV presenta grandes ventajas económicas.

Para el caso de un aumento en la tarifa de energía eléctrica, equivalente a una reducción de los subsidios a un 30%, manteniendo los mismos niveles de descuento en la adquisición del EV, en la figura 2 se observan condiciones menos favorables para lograr un escenario de rentabilidad en el uso del EV, pues si bien se recortan los subsidios a la energía, por otro lado, deben aumentarse los regímenes especiales de subsidios o descuento para la adquisición de EV, con descuentos del orden al 31-41%, verificando tal condición para el caso Kangoo Z.E 3. Siendo el caso de la Kangoo Z.E 4 el más rentable aun con un aumento significativo en la tarifa de energía.

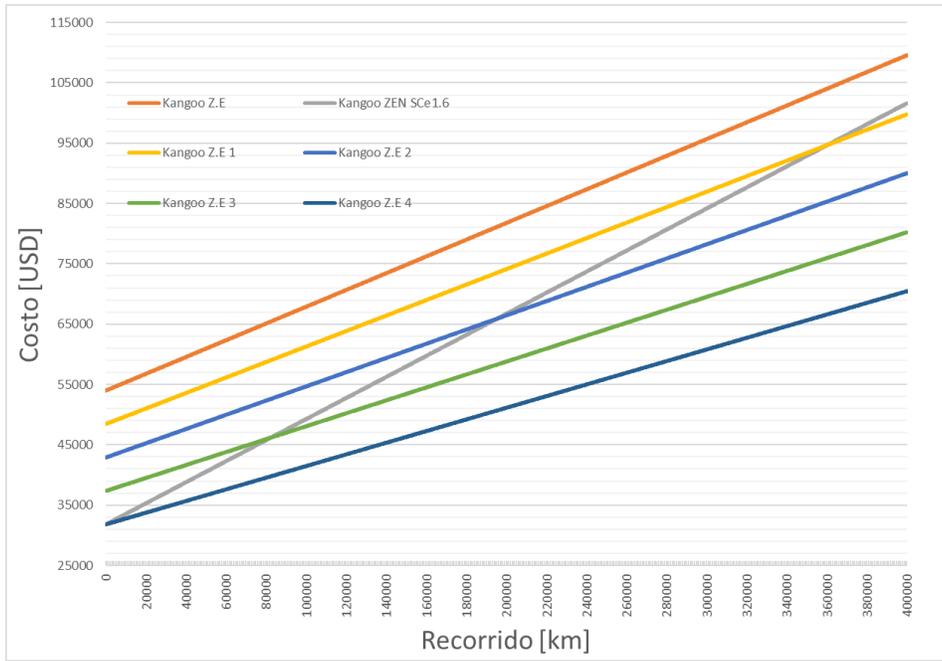


Figura 2. Comparativa de costo acumulado con tarifa subsidiada 30%.

Finalmente, para un escenario de incremento de tarifas del 70%, que se corresponden con un esquema de eliminación de los subsidios a la energía eléctrica residencial, en la figura 3 se observa que las condiciones de rentabilidad del EV se modifican levemente, respecto al caso anterior, dado que solo a partir de niveles de descuento del costo de adquisición del EV en el rango al 31-41% se alcanzan condiciones viables, destacándose un incremento de aproximadamente 10.000 km, equivalentes a 1 año más de tenencia del EV. Haciendo un análisis cuantitativo de las tres graficas presentadas, se concluye en que, si bien el costo de la energía tiene un papel importante, la variable principal que modifica notablemente la rentabilidad de los EV, es su costo inicial de adquisición.

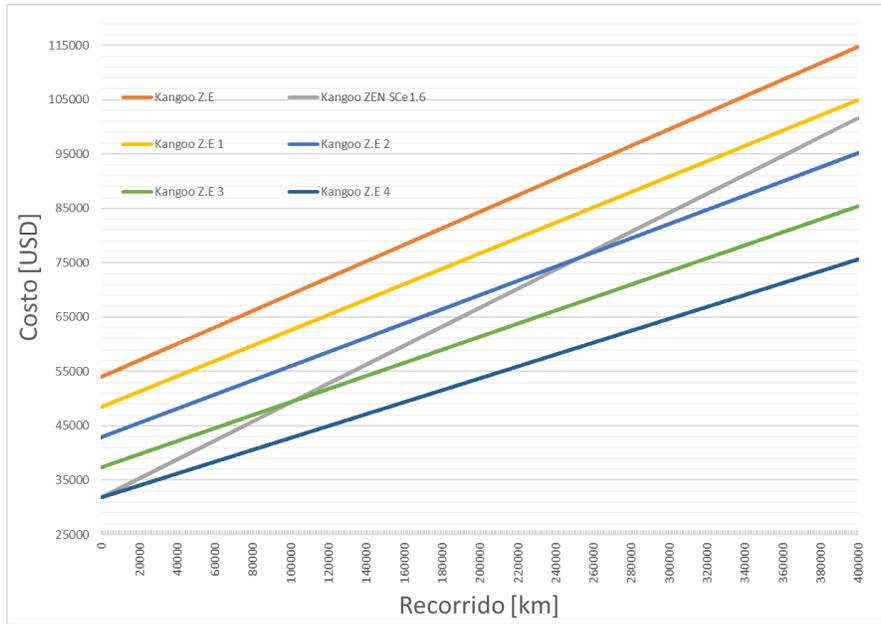


Figura 3. Comparativa de costo acumulado con tarifa sin subsidio.

Análisis de sensibilidad del consumo promedio del EV y su impacto en los costos acumulados

En la figura 4 se presentan las curvas comparativas de los costos del CE y EV, para un escenario de tarifa de energía subsidiada en un 70%, y un consumo del EV variable, iniciando en el consumo declarado por la empresa que comercializa el EV (15,5 [kWh]/100 [km]), y disminuyendo en cuatro escalones iguales hasta un consumo de 8 [kWh]/100 [km]. Este consumo depende del tipo de uso del EV por parte del usuario, que incluye velocidad, torque mecánico y nivel de confort, entre otros.

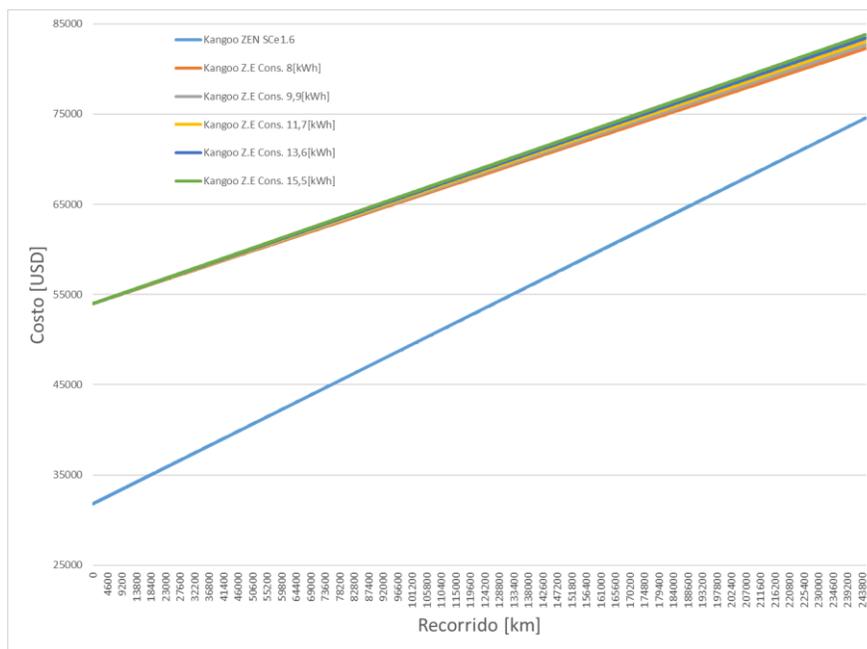


Figura 4. Comparativa de costo acumulado con tarifa subsidiada en un 70% para distintos consumos del EV.

En la figura 5 se presentan las curvas comparativas de los costos del CE y EV, para un escenario de tarifa de energía sin subsidio, e iguales consumos que en el caso de tarifa subsidiada.

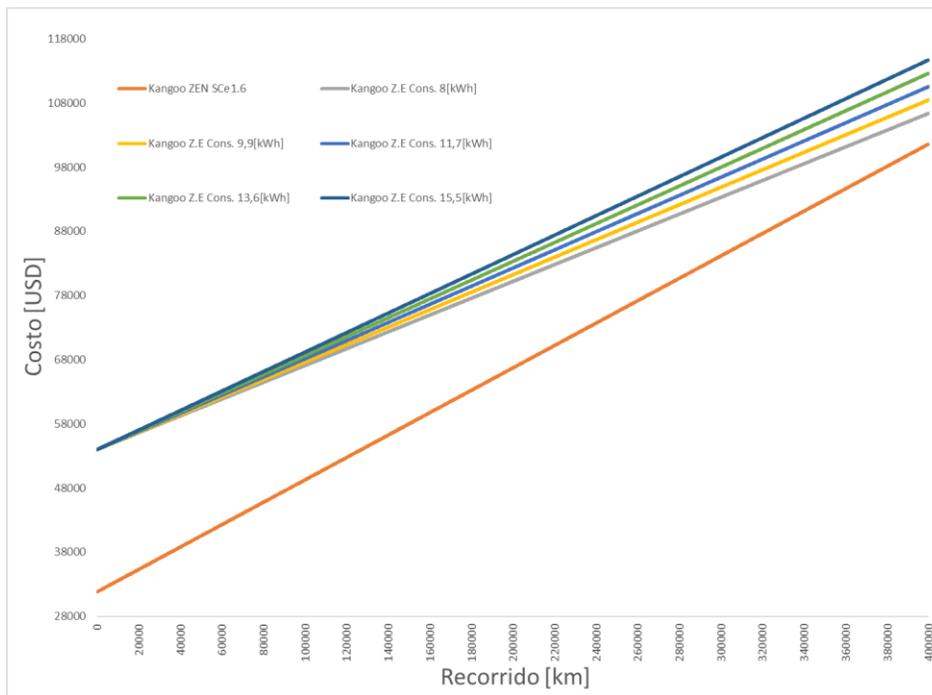


Figura 5. Comparativa de costo acumulado con tarifa sin subsidio para distintos consumos del EV.

En este caso, se evidencian los cambios más apreciables en los costos globales del EV, según su modo de uso. No obstante, estas variaciones cobran interés para distancias de recorrido que se corresponden con una tenencia muy prolongada del EV, por encima de los 150.000 km. Con respecto al resultado integral de los 3 escenarios de tarifas, en la tabla 4 se resumen los costos del impacto que tiene en el costo a largo plazo el consumo que tenga el EV, para las diferentes tarifas analizadas. Se presenta el porcentaje de ahorro obtenido, tomando como base un consumo de 15,5 [kWh], contra el consumo mínimo planteado para realizar el análisis antes mencionado, con un recorrido total de 245.000 km.

Tabla 4. Variación porcentual del costo acumulado para cada tarifa de energía.

Tarifa	Consumo promedio / 100 km (mínimo y máximo)	Recorrido [km]	Disminución final del costo acumulado [%]
Subsidiada 70%	8 - 15,5 [kWh]	245.000	1,83
Subsidiada 30%	8 - 15,5 [kWh]	245.000	4,06
Sin subsidio	8 - 15,5 [kWh]	245.000	5,60

En síntesis, se infiere que los diferentes modos de uso del EV y su consumo de energía eléctrica asociado no tiene influencia significativa tanto para la tarifa actual de energía, como para una tarifa más cara (con eliminación de los subsidios), considerando una tenencia del vehículo de corto a mediano plazo por parte del usuario, equivalente a un recorrido estándar de 100.000 km. En cambio, para un uso del EV de largo plazo, con distancias de recorrido superiores a 150.000 km, el consumo de energía

para la recarga del EV se convierte en una variable relevante con un impacto no despreciable en los costos totales del vehículo.

Análisis de rentabilidad modo de recarga V2G

Finalmente se realizó el análisis orientado a la posibilidad de inyectar potencia hacia la red con el EV, basándose en el modo V2G. En la figura 6 se observa que, debido al costo del recambio de las baterías, llevado a cabo a la mitad del tiempo analizado, provoca que un EV con modo de recarga V2G no sea rentable.

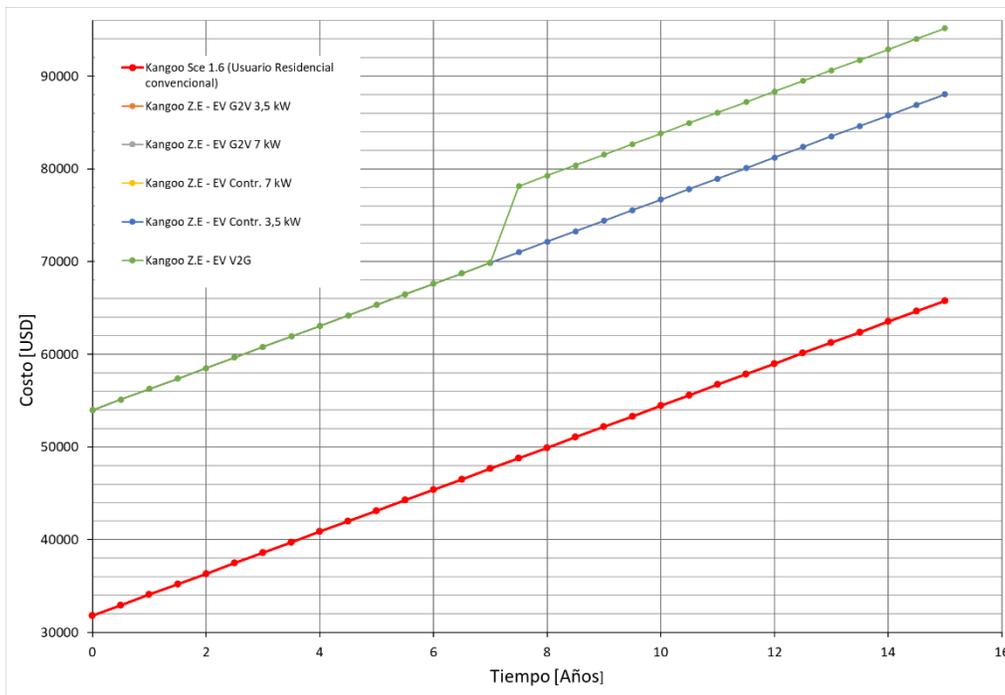


Figura 6. Comparativa de costo acumulado modo de recarga convencional y modo V2G.

Conclusiones

Actualmente, en la Republica Argentina, las tarifas de energía eléctrica subsidiadas y los altos costos de adquisición del vehículo eléctrico tornan económicamente inviable el uso de este como reemplazo de los actuales vehículos de combustión interna.

Los resultados demuestran que su factibilidad económica requiere la aplicación de políticas públicas orientadas a reducción o quita de aranceles y una financiación flexible a tasas de interés reducidas tal que brinden mayor accesibilidad para la compra de un auto eléctrico. Además, no se descarta la posibilidad de la fabricación de los EV en la industria nacional, incentivando la inversión nacional e internacional mediante la disminución de la presión impositiva y facilitación de la importación de insumos necesarios para su fabricación.

Tornando similares los costos de adquisición de ambos vehículos, como el caso presentado de la Kangoo Z.E 3 y Kangoo Z.E 4, en los cuales, los vehículos comienzan a ser rentables con un periodo de tenencia relativamente corto.

En cuanto a la tarifa de energía eléctrica que los usuarios deben abonar, si bien es una variable para considerar, esta toma importancia en el caso de una quita total de subsidios.

Como se menciona en uno de los análisis efectuados, el consumo energético del vehículo eléctrico tiene una alta dependencia del modo de conducción. Por esto, se plantearon distintos escenarios, los cuales muestran que el consumo del EV no constituye una variable de mayor relevancia al analizar su rentabilidad, pues, tomando el consumo más bajo adoptado, solo se logra una reducción del 5,6% del costo acumulado del EV para un recorrido total de 245.000 [km].

En el caso analizado del modo de recarga V2G, se determinó que actualmente no es rentable este modo de operación. La causa se presenta en la elevada inversión que debe realizarse en el recambio de las baterías, debido a la aceleración de la degradación de su vida útil por el aumento de la cantidad de ciclos de carga y descarga a la que son expuestas.

Referencias

Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPE-SF) (2022). Tarifa Residencial hasta 20 kW. Disponible en < [Cuadro Tarifario \(santafe.gov.ar\)](http://www.santafe.gov.ar)>.

Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPE-SF) (2022). Tarifas 2-grandes demandas, baja tensión-demandas menores a 300 kW. Disponible en < [Cuadro Tarifario \(santafe.gov.ar\)](http://www.santafe.gov.ar) >.

GlobalPetrolPrices (2022). Argentina Precios de la gasolina. Disponible en https://es.globalpetrolprices.com/Argentina/gasoline_prices/

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2019). Innovation Outlook: Smart Charging for Electric Vehicles.

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2015). Cambio climático. El acuerdo de París.

Perdomo, M. (2021). "Inserción de locomoción eléctrica de usuarios residenciales y del transporte público sobre una red de distribución primaria de 13,2 kV. Evaluación de los impactos técnico y económico", Tesis (Ingeniería eléctrica), Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe.

Renault Argentina (2022). Costo de adquisición de los vehículos. Disponible en < [Gama Renault: nuevos modelos de vehículos - Renault](#) >.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2018). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle.

CAMMESA (2022). Informe Anual 2021 – Mercado Eléctrico Mayorista. Disponible en < Informe Anual | CAMMESA >.