

Rentabilidad Económica de un Vehículo Eléctrico según Estudios de Sensibilidad de Variables Técnicas y Económicas

Nehuen Echiverri

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE) (Lavaisse 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN

echiverrinehuen0@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Ulises Manassero, en el marco del proyecto “Integración de Movilidad Eléctrica de Usuarios Residenciales y de Transporte Público a Redes de Distribución” (2022 – 2025), código ENTCBFE0008252TC, dirigido por el Dr. Ing. Jorge Vega

Resumen: 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 tarifa de energía eléctrica de tipo flexible y polinómica, 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.

Los resultados indican que, si se establecen costos de adquisición de los vehículos eléctricos similares a los vehículos convencionales, es rentable dicho cambio.

Palabras Clave: Vehículos Eléctricos, Tarifa de Energía Eléctrica, Análisis de Sensibilidad.

Economic Profitability of an Electric Vehicle according to Sensitivity Studies of Technical and Economic Variables

Abstract: In the present work, the objective is to study different types of residential electricity rates and carry out an economic analysis of the replacement of a conventional car for an electric one with similar benefits. The aim is to compare different types of users, differentiated by the recharging power of the vehicles and their behavior depending on the power demand of the network (controlled or uncontrolled recharging). Initially, the application of a flexible and polynomial electricity rate is evaluated, with the purpose of encouraging the recharging of electric vehicles during off-peak hours. Studies of the economic expenditures of different types of users and sensitivity analyzes are then carried out to identify key points that would make the use of electric vehicles attractive.

The results indicate that, if acquisition costs of electric vehicles similar to those of conventional vehicles are established, said change is profitable.

Keywords: Electric Vehicles, Electricity Tariff, Sensitivity Analysis.

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 requiere actualmente disminuir o eliminar aquellas acciones perjudiciales para el medio ambiente (EPA, 2018). Según IRENA (The 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). En este sentido, contribuyen los avances significativos en la densidad de almacenamiento de energía en las actuales tecnologías de las baterías, en contraposición, con una reducción de sus costos (Worku, 2022).

Con lo antes mencionado, la adquisición de vehículos eléctricos (EVs) comienza a ganar importancia a nivel internacional, aunque a nivel nacional o regional, por el momento, 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 vehículos convencionales (CEs) a EVs. Se plantea un estudio económico de rentabilidad del EV, según los siguientes análisis: (i) costos de adquisición y mantenimiento de EVs y CEs 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.

Desarrollo

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 S Ce 1.6 nafta, debido a su gran similitud.

Como tarifas de energía se tomaron los valores actualizados en junio 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 (GlobalPetrolPrices, 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.

Actualmente la energía se encuentra subsidiada en un 70%, 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.

En la tabla 1 se presenta el costo de adquisición de cada vehículo, junto con su consumo promedio cada 100 km; mientras en la tabla 2 se muestra el costo de las tarifas de energía y el combustible.

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.

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

Tabla 1. Costo de adquisición y consumo 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					

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

	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

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

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 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). Para el cálculo del costo se utiliza la ecuación (1).

$$C_{acum}[USD] = C_i[USD] + Rec[km] * \left((C_{ener} + C_{mant} + C_{pat+seg}) \left[\frac{USD}{km} \right] \right) \quad (1)$$

Donde: C_{acum} representa el costo acumulado; C_i es el costo inicial; Rec el recorrido; C_{ener} , C_{mant} y $C_{pat+seg}$ representan los costos de energía, mantenimiento y patente más seguro respectivamente.

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 115.000 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).

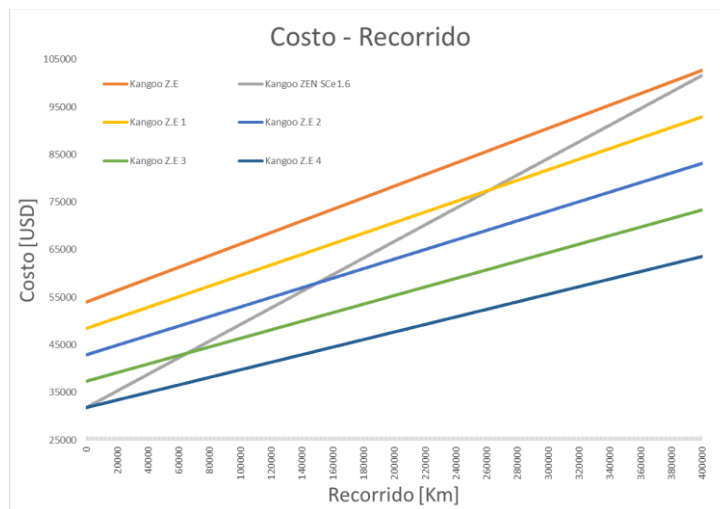


Figura 1. Comparativa de costo acumulado con tarifa subsidiada 70%.

Para el caso de un aumento en la tarifa de energía eléctrica en un 40%, equivalente a una reducción de los subsidios a un 30%, 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 y/o descuento para la adquisición de EVs, con descuentos del orden al 30-35%, verificando tal condición para el caso Kangoo Z.E 3.

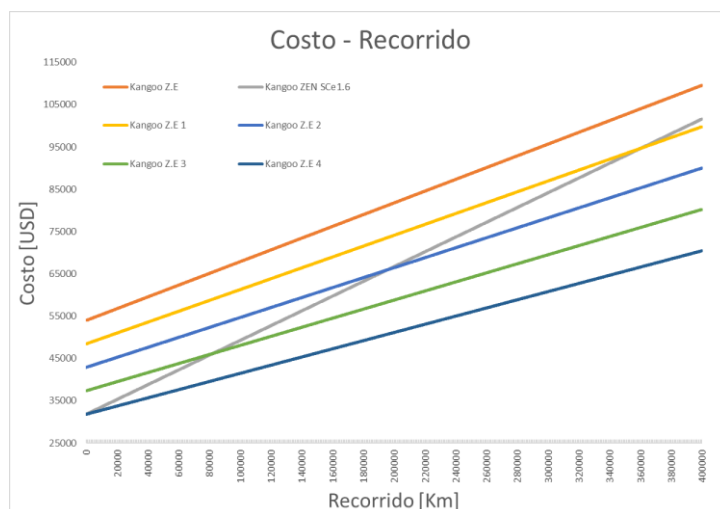


Figura 2. Comparativa de costo acumulado con tarifa subsidiada 30%.

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 30-40% se alcanzan condiciones viables, destacándose un incremento de aproximadamente 10.000 km, equivalentes a 1 año más de tenencia del EV.

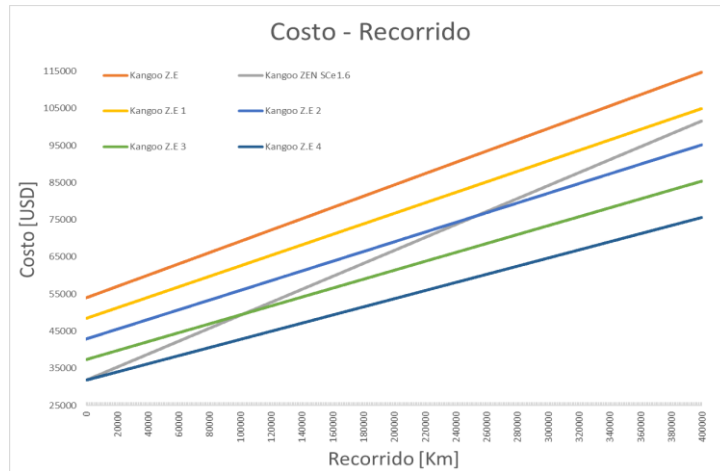


Figura 3. Comparativa de costo acumulado con tarifa sin subsidio.

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 sin subsidio, 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]. Es dable destacar que este consumo depende del tipo de uso del EV por parte del usuario, que incluye velocidad, torque mecánico y nivel de confort, entre otros.

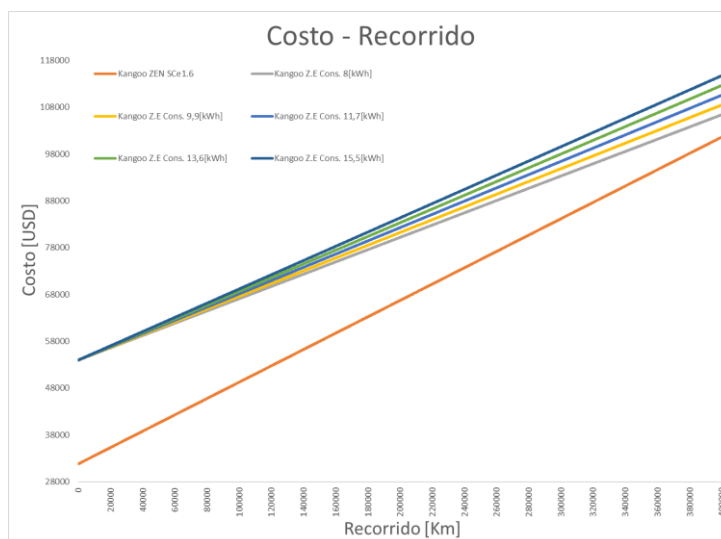


Figura 4. Comparativa de costo acumulado con tarifa sin subsidio para distintos consumos del EV.

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.

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

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

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 5 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.

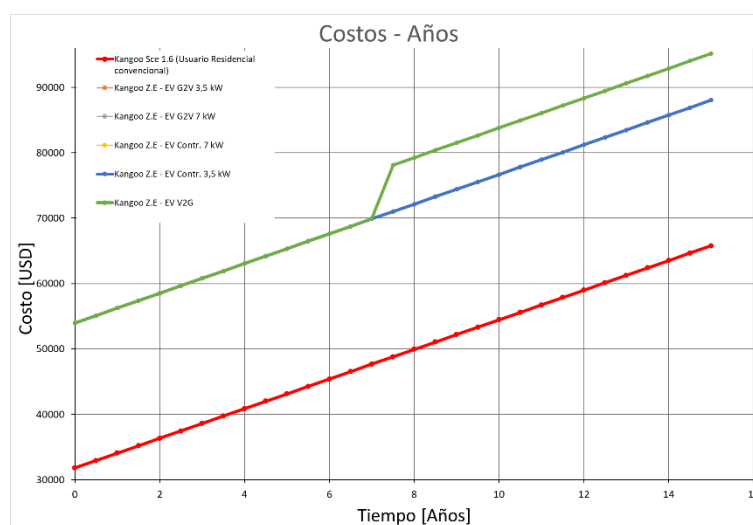


Figura 5. Comparativa de costo acumulado modo de recarga convencional y modo V2G.

Conclusiones

Actualmente las tarifas de energía eléctrica subsidiadas y los altos costos de adquisición del vehículo eléctrico tornan económicamente inviable el uso del mismo 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 y /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.

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://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://santafe.gov.ar)>.

Goetzl, N.; Hasanuzzaman, M. (2022). "An empirical analysis of electric vehicle cost trends: A case study in Germany", *Transportation Business & Management* 43 (2022) 100825.

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

Kennedy, D.; Philbin, S. P. (2019). "Techno-economic analysis of the adoption of electric vehicles", *Frontiers of Engineering Management*.

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*.

Worku, M.Y (2022). "Recent Advances in Energy Storage Systems for Renewable Source Grid Integration: A Comprehensive Review", *Sustainability* 2022, 14, 5985. <https://doi.org/10.3390/su14105985>