

# Rentabilidad económica del vehículo eléctrico mediante el análisis de sensibilidad de variables económicas

## Economic profitability of electric vehicles through the sensitivity analysis of economic variables

Presentación: xx/09/2023

### **Facundo Lucero**

UTN, Facultad Regional Santa Fe, CIESE

flucero@frsf.utn.edu.ar

### **Mariano M. Perdomo**

UTN, Facultad Regional Santa Fe, CIESE

mperdomo@frsf.utn.edu.ar

### **Ulises Manassero**

UTN, Facultad Regional Santa Fe, CIESE

umanassero@frsf.utn.edu.ar

### **Jorge R. Vega**

UTN, Facultad Regional Santa Fe, CIESE

jvega@santafe-conicet.gov.ar

### **Pablo Marelli**

UTN, Facultad Regional Santa Fe, CIESE

pmarelli@frsf.utn.edu.ar

### **Juan P. Fernández**

UTN, Facultad Regional Santa Fe, CIESE

jpfernandez@frsf.utn.edu.ar

### **Resumen**

El contexto energético global requiere un accionar multisectorial para cumplimentar metas ambientales en pos de un crecimiento sostenible. El sector del transporte se encuentra entre aquellos más influyentes en la coyuntura, por lo que presenta un gran potencial para efectuar cambios trascendentales. La movilidad eléctrica lidera los vectores de cambio en el sector, presentando múltiples ventajas frente a la tecnología convencional. Sin embargo, existen barreras para su inserción que se ponen en discusión mediante políticas que faciliten su adquisición y uso. El presente trabajo compara dos modelos de vehículos equivalentes mediante el análisis de la evolución del costo en el tiempo, para esto se consideran distintos escenarios de sensibilización. Por un lado, la variación en el costo de adquisición, estableciendo escalones de reducción en los precios, y en la eficiencia de los vehículos eléctricos. Por el otro, las tarifas de energía utilizadas, las cuales surgen del análisis de los nuevos segmentos tarifarios, según los niveles de ingresos y consumo de cada usuario. Los resultados muestran una alta incidencia de

los costos de adquisición en la inviabilidad del cambio de tecnología. Contrariamente, la mejora de la eficiencia de los vehículos no modifica drásticamente la evolución de los costos en el tiempo. En cuanto a la diferencia entre sectores tarifarios, si bien el costo desarrollado difiere, no resulta relevante para determinar la viabilidad en el uso de una tecnología por sobre la otra.

Palabras claves: movilidad eléctrica, tarifas, factibilidad

## Abstract

The global energy context requires a multisectoral approach to meet environmental goals in pursuit of sustainable growth. The transportation sector is among the most influential in the current situation, thus presenting great potential for making transcendent changes. Electric mobility leads the vectors of change in the sector, presenting multiple advantages over conventional technology. However, there are barriers to its insertion that are under discussion through policies that facilitate its acquisition and use. This paper compares two equivalent vehicle models by analyzing the evolution of cost over time, taking into account different sensitivity scenarios. On the one hand, the variation in acquisition costs, establishing reduction steps in prices and electric vehicle efficiency. On the other hand, the energy rates used, which arise from the analysis of new tariff segments, according to the income and consumption levels of each user. The results show a high incidence of acquisition costs in the infeasibility of technology change. Conversely, improving vehicle efficiency does not drastically change the evolution of costs over time. Regarding the difference between tariff sectors, although the resulting cost differs, it is not relevant to determine the viability of using one technology over the other.

Keywords: electric mobility, tariff, feasibility

## Introducción

Desde la conformación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1994 (CMNUCC), las consecuentes Conferencias de Partes (COP) y aquellos tratados hitos como ser el Protocolo de Kioto en 2001 y el Acuerdo de París en 2015, se ha logrado visibilizar, tomar conciencia y crear planes de acción en consecuencia de una realidad efectiva global. Estos compromisos vinculantes internacionales han buscado la creación de herramientas que permitan direccionar el desarrollo global hacia uno sostenible, marcando objetivos de valores límites en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por su parte, según lo establecido en el Acuerdo de París, Argentina emitió su Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional en 2020 (NDC, por sus siglas en inglés), en la cual se manifiesta el objetivo de no exceder la emisión neta de 359 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (MteqCO<sub>2</sub>), aplicable a todos los sectores de la economía (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

El sector del transporte representa alrededor de un 30% de la energía consumida a nivel global, y con esto, es responsable de casi el 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, debido a la gran dependencia de combustibles fósiles (International Renewable Energy Agency, 2022).

En Argentina, el sector de transporte aporta alrededor del 13,8% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, resultando en un aproximado de 50,22 MteqCO<sub>2</sub> (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019). Así mismo, según el Balance Energético Nacional 2021, el sector del transporte representó alrededor del 32,7% del consumo final de energía (Ministerio de Economía, 2021).

Se proyecta un aumento en la demanda de los servicios de transporte, entonces, es crucial transformar de manera sostenible el sector, donde los vehículos eléctricos (EVs por sus siglas en inglés) tienen la clave para generar sinergias entre el transporte limpio y las energías bajas en

carbono (International Renewable Energy Agency, 2022). Esta incorporación de tecnología se encuentra en ascenso global, liderado por Europa y China, donde el crecimiento no responde a un libre mercado, sino que, en ambos casos, el rol de la regulación es clave para entender el fenómeno (SIOMAA, 2021). Esto demuestra que, a pesar de los múltiples beneficios que conlleva la incorporación de la movilidad eléctrica, se presentan barreras para la adopción masiva que remiten mayormente a cuestiones económicas. Por esto, en este trabajo se pretende analizar la factibilidad de la adquisición y uso de la movilidad eléctrica, así como detectar las variables que modifican el escenario para propiciar un aumento de la inserción en el sector.

Se plantea un estudio económico de rentabilidad del EV, según los siguientes análisis: (i) costos de adquisición y mantenimiento de EVs y vehículos convencionales (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.

## Desarrollo

En el presente trabajo se adopta como EV de estudio al modelo Kangoo Z.E. comercializado por Renault Argentina (Renault, 2022), y como CE al modelo Kangoo ZEN SCe 1.6 nafta, debido a su gran similitud. La selección de este modelo se realizó debido a que presenta mayor comercialización en la región de estudio. Sin embargo, la metodología de análisis es fácilmente aplicable a comparativas entre otros modelos.

Para las tarifas de energía eléctrica, se tomaron de referencias los cuadros tarifarios actualizados de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPE-SF), en concreto las tarifas Residencial hasta 20 kW, las cuales se componen de cuatro segmentos con distintos alcances de subsidios, según los niveles de ingresos y consumos mensuales de los usuarios (EPE-SF, 2022). El combustible adoptado es la Nafta Súper y como referencia de precio se hizo uso de los Datos Abiertos de la Secretaría de Energía, considerando un promedio de los precios en surtidores de la provincia de Santa Fe, en el primer trimestre del año 2023.

En la tabla 1 se presenta el costo de adquisición de cada vehículo, junto con su consumo promedio cada 100 km; mientras que en la tabla 2 y 3 se muestra el costo de las tarifas de energía y el combustible, respectivamente. Estos valores fueron empleados en el trabajo.

<b>Vehículo</b>	<b>Costo de adquisición [USD]</b>	<b>Consumo promedio cada 100 km</b>
Kangoo Z.E.	56.341	15,5 [kWh]
Kangoo ZEN SCe 1.6	27.845	9,4 [L]

Tabla 1. Costo de adquisición y consumo promedio.

<b>Tipo de combustible</b>	<b>Precio promedio [USD/l]</b>
Nafta (súper) entre 92 y 95 Ron	0,9498

Tabla 2. Costo promedio de combustible.

Nivel de ingresos	Tipo de usuario	Cuota de Servicio USD/Mes	Primeros 75 kWh/mes (USD/kWh)	Siguientes 75 kWh/mes (USD/kWh)	Siguientes 150 kWh/mes (USD/kWh)	Excedente de 300 kWh/mes (USD/kWh)
Mayores ingresos	Residencial hasta 20 kW	1,5126	0,0902	0,0990	0,1359	0,1643
Ingresos medios	Residencial hasta 20 kW, > a 400 kWh/mes	1,5126	0,0609	0,0943	0,1350	0,1643
Ingresos medios	Residencial hasta 20 kW, < 400 kWh/mes	1,5126	0,0609	0,0697	0,1066	0,1350
Ingresos menores	Residencial hasta 20 kW	1,5126	0,0569	0,0656	0,1026	0,1309

Tabla 3. Costo de la energía residencial hasta 20 kW y combustible promedio.

En función de los cuadros tarifarios actuales, se realizó el cálculo de facturación para distintos niveles de consumo en cada segmentación y así, se logró establecer un precio promedio de la energía para cada tipo de cliente.

Posteriormente, se procedió a calcular la evolución del costo de cada vehículo, considerando los distintos niveles de tarifa para los EV. Para dicho cálculo se hizo uso de la ecuación (1):

$$C_{acum}[USD] = C_i[USD] + Rec[km] \times (C_{ener} + C_{mant} + C_{pat} + C_{seg})[USD/km] \quad (1)$$

Donde:  $C_{acum}$  representa el costo acumulado;  $C_i$  el costo de adquisición;  $Rec$  el recorrido;  $C_{ener}$ ,  $C_{mant}$ ,  $C_{pat}$  y  $C_{seg}$ , los costos de la energía, mantenimiento, patente y seguro por km, respectivamente.

Cabe mencionar que, bajo el punto de vista planteado en este trabajo, no se han considerado los desgastes relacionados al uso del vehículo, y el desgaste del sistema de almacenamiento para el caso específico del vehículo eléctrico.

Por otro lado, debido a la diferencia en los precios de mercado para adquirir ambas tecnologías y a una tendencia global en la asequibilidad de los EVs, se evaluó el escenario de progresivas reducciones del costo de adquisición de los EVs. En este planteo, se dividió la diferencia de precios en cuatro escalones, resultando aproximadamente en un 12,5% de reducción en cada uno de ellos. En la tabla 4 se muestran los distintos costos de adquisición inicial de los EVs considerados para el análisis. El menor costo de adquisición considerado supone que ambos vehículos cuestan lo mismo.

Costo de adquisición EV [USD]	ZE 1 [USD]	ZE 2 [USD]	ZE 3 [USD]	ZE 4 [USD]
56.341	49.217	42.093	34.696	27.845

Tabla 4. Variación en los costos de adquisición de EVs.

Finalmente, se evaluó un escenario de mejora en la eficiencia de los EVs mediante el planteo de reducciones progresivas en el consumo, con el fin de considerar la tendencia existente en las mejoras del desarrollo tecnológico de estos equipos y su inserción en el mercado. Contemplando como valor inicial 15,5 [kWh/100 km] y un objetivo final de 8,0 [kWh/100 km], en la tabla 5 se muestran las progresiones utilizadas. Para este caso, se hizo uso de un valor promedio de la

energía entre los distintos segmentos, ya que se buscó evaluar la incidencia que tiene sobre los costos la mejora de la eficiencia en la tecnología.

	<b>ZE</b>	<b>ZE 1</b>	<b>ZE 2</b>	<b>ZE 3</b>	<b>ZE 4</b>
<b>Consumo [kWh/100 km]</b>	15,5	13,6	11,8	9,9	8,0
<b>Costo de energía [USD/km]</b>	0,0226	0,0199	0,0171	0,0144	0,0117

Tabla 5. Variación en la eficiencia del consumo de EVs.

## Resultados

En la figura 1 se visualiza la comparativa de la evolución del costo del modelo eléctrico Kangoo ZE, para los distintos segmentos tarifarios, y el modelo convencional Kangoo ZEN Sce 1.6, en función de la distancia recorrida en uso. La variación del precio de la energía remite a un cambio en la pendiente con la que se desarrolla la evolución del costo, percibiendo una mayor incidencia a partir de los 500.000 km recorridos. Si bien se aprecia que la brecha en los costos se reduce, no se logra un punto de intersección que determine la factibilidad del vehículo eléctrico.

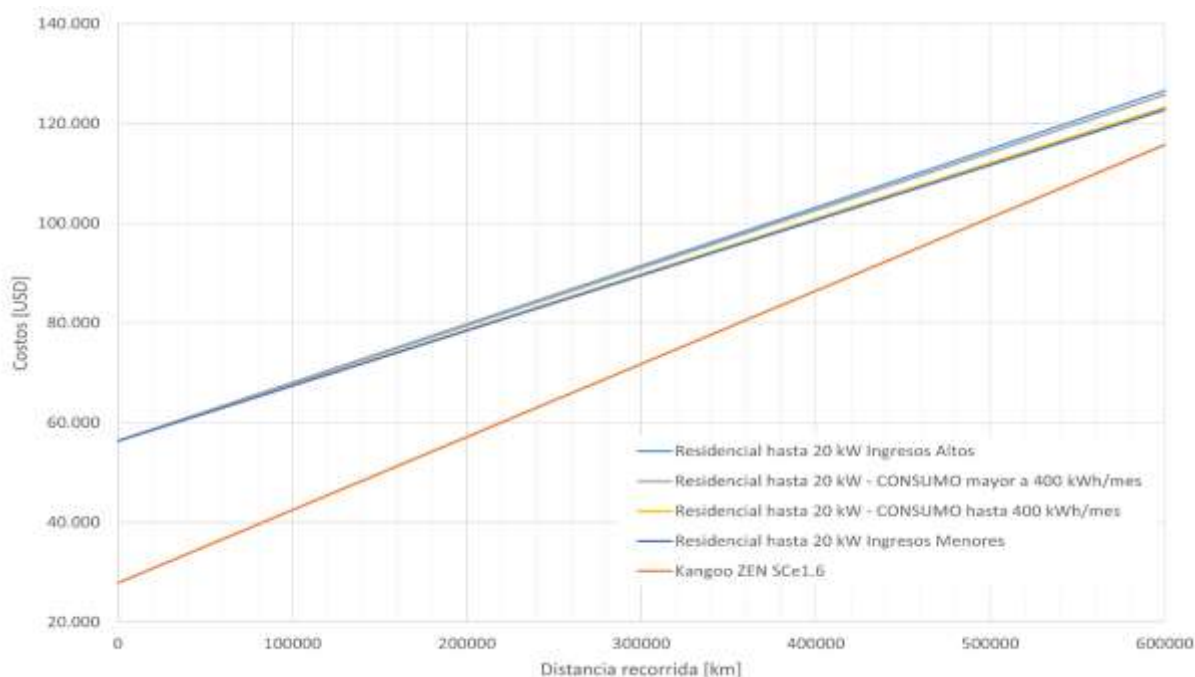


Figura 1. Evolución del costo acumulado por tecnología y por tipo de tarifa.

En la figura 2 se muestra la comparativa de costos del CE y EVs aplicando los escalones de reducción en los costos de adquisición, para un Usuario Residencial hasta 20 kW con Ingresos Menores, es decir, aquella más subsidiada. Si bien se identifican intersecciones de factibilidad en todos los escenarios de costos de adquisición, aquellos coincidentes con los primeros escalones de reducción se verifican para distancias recorridas cercanas a los 455.000 [km] y 248.300 [km], los cuales equivalen aproximadamente a 30 y 17 años de tenencia respectivamente. Se tiende a considerar una tenencia del vehículo de unos 10-11 años promedio, representando un recorrido

acumulado de entre 150.000 [km] a 170.000 [km], por lo que en este caso se verifica la rentabilidad del EV para una reducción de al menos el 38% respecto a su costo actual (caso Kangoo ZE 3).

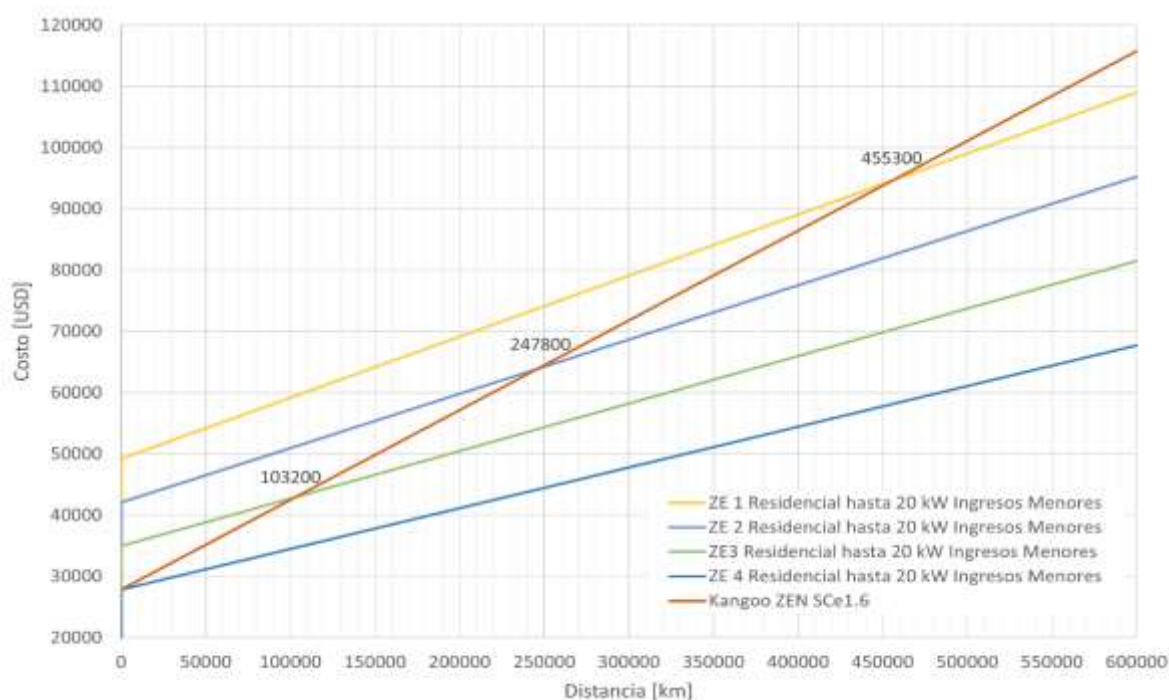


Figura 2. Evolución del costo acumulado con reducciones en el costo de adquisición de EVs.

En virtud de que el escenario previamente planteado resulta ser el más favorable, debido a que se evaluó sobre la tarifa con mayor subsidio, se realizó el análisis de sensibilidad de las tarifas sobre el costo de adquisición ZE 3. Así se contempla la variación de las tarifas en el caso de reducción de costos de adquisición identificado como el más factible.

En la figura 3 se aprecia el desplazamiento del punto de factibilidad conforme a cada segmentación. La tarifa de Usuario Residencial en segmento de Ingresos Altos es aquella que requiere de mayor recorrido para efectivizar la factibilidad, punto que sucede a los 113.000 [km] aproximadamente. Esto marca una distancia máxima estimada de 10.000 [km] con el recorrido de factibilidad más temprana, aquel para el segmento de Ingresos Menores, lo que no representa una desviación significativa. Se obtuvieron los valores de recorrido a partir de los cuales cada segmento se torna rentable y, a su vez, se calculó la variación de los costos de éstos respecto al escenario más favorable (tabla 6).

Tarifa	Recorrido [km]	Variación del costo [%]
Residencial hasta 20 kW	113.600	3,42
Residencial hasta 20 kW, > a 400 kWh/mes	111.300	2,69
Residencial hasta 20 kW, < 400 kWh/mes	104.400	0,41

Tabla 6. Variación de costos y recorrido de los cuadros tarifarios respecto al más favorable.

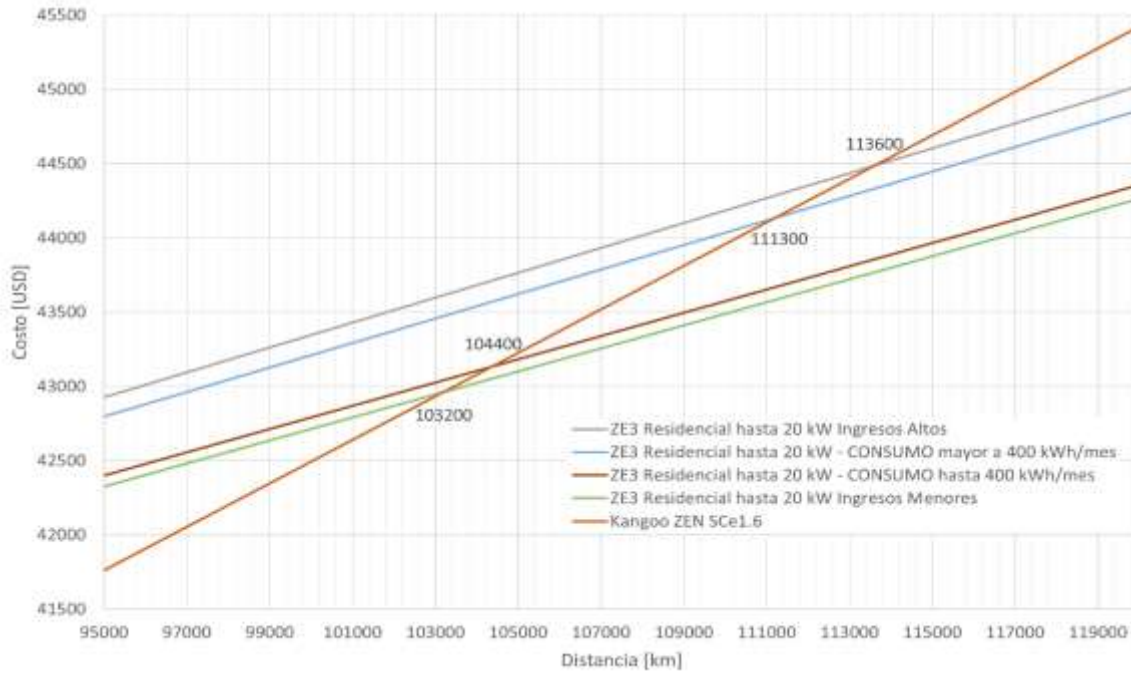


Figura 3. Evolución del costo acumulado para cada segmento tarifario en un escenario Kangoo ZE 3.

La figura 4 expone la incidencia de una mejora progresiva en la eficiencia de los EVs, mediante un descenso del consumo de energía. Si bien se aprecia cómo esta variación repercute en la pendiente, es decir, la velocidad de cambio de la evolución de los costos acumulados por recorrido, bajo ninguno de los escenarios planteados se logra efectivizar una intersección que brinde factibilidad. Para este análisis, se consideró para el costo de la energía, un promedio de aquellos correspondientes a cada segmento tarifario.

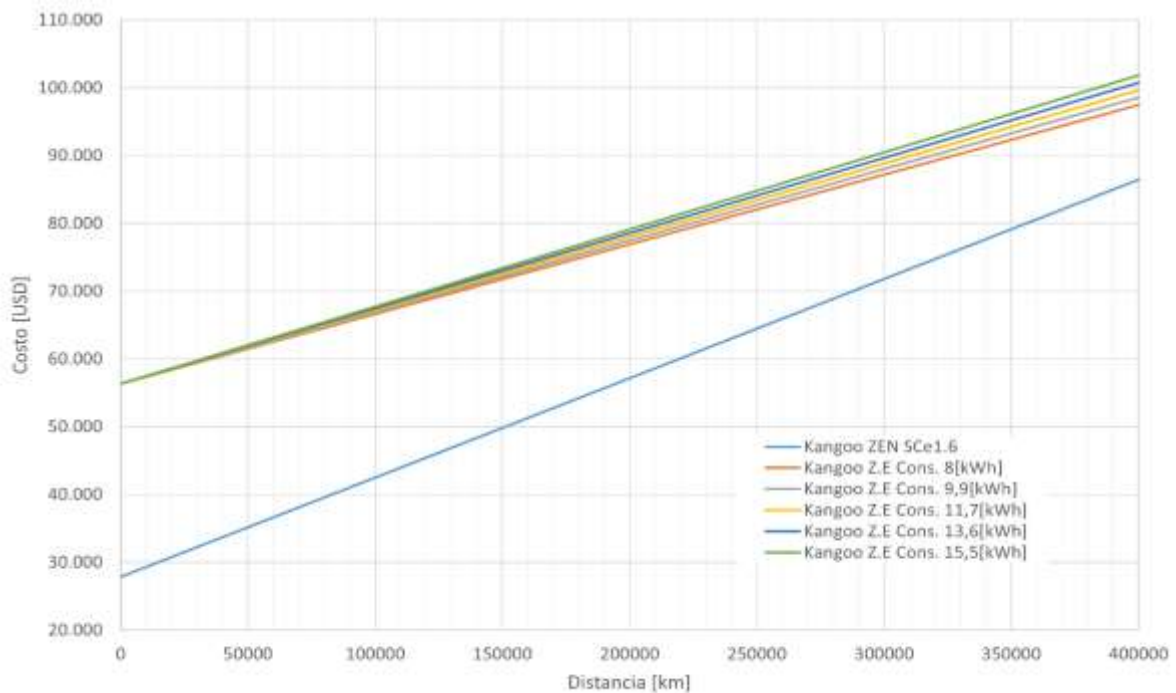


Figura 4. Evolución del costo acumulado con variación en los consumos del EV.

## Conclusiones

Los costos de adquisición que el mercado actual propone tornan inviable el uso de vehículos eléctricos frente a los convencionales. Frente a esto, se logró demostrar la factibilidad en escenarios alternativos que requieren de políticas orientadas a la reducción de estos costos, ya sea por vía de reducción arancelaria, créditos blandos u otras formas.

Con respecto al precio de la energía, la segmentación tarifaria marca una distancia entre la evolución de costos que percibirá cada tipo de usuario, pero sin modificar la accesibilidad de éstos a la tecnología evaluada. Es decir, no inciden en gran medida en la rentabilidad económica de acceso a vehículos eléctricos. Lo mismo sucede con respecto a la variación en los consumos de los vehículos eléctricos, si bien se observan variaciones en el costo acumulado de uso, estas no son considerables para determinar o no la factibilidad sobre la alternativa convencional.

## Referencias

BID. (2020). *Banco Interamericano de Desarrollo (2020). De estructuras a servicios. El camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe.* <http://dx.doi.org/10.18235/0002506>

Castro, M. (2020, September 2). *Vehículos eléctricos: hacia un transporte limpio y asequible - Ideas que cuentan.* Blogs iadb. Retrieved April 18, 2023, from <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/vehiculos-electricos-hacia-un-transporte-limpio-y-asequible/>

García, G. (2020, December 31). *Ya hay baterías por menos de 100 dólares/kWh: para BloombergNEF, “un hito histórico”.* Híbridos y Eléctricos. Retrieved April 24, 2023, from [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/baterias-menos-100-dolares-kwh-bloombergnef-hito-historico\\_40920\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/baterias-menos-100-dolares-kwh-bloombergnef-hito-historico_40920_102.html)

International Energy Agency. (2022). *Global Electric Vehicle Outlook 2022.* <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>

International Energy Agency. (2022, September). *Transport – Analysis.* IEA. Retrieved April 24, 2023, from <https://www.iea.org/reports/transport>

International Renewable Energy Agency. (2022). *Transport.* IRENA. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Transport>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020, Diciembre). Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina.

Ministerio de Economía. (2021). *Balance Energético Nacional 2021*. Argentina.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero*.

Secretaría de Energía. (n.d.). *Datos Abiertos*. Datasets. <http://datos.energia.gob.ar/dataset>

SIOMAA. (2021, Enero). *Electromovilidad. Un repaso por el estado de la tecnología y el mercado*.

SIOMAA. <https://siomaa.com:8082/Documents/Reports/6de49709-0b14-40cc-a6be-08800a85664a.pdf?name=Electromovilidad.%20Un%20repaso%20por%20el%20estado%20de%20la%20tecnolog%C3%ADa%20en%20el%20mundo,%20la%20regi%C3%B3n%20y%20Argentina.&date=06-01-2021>